

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería Mecánica



INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA NORMATIVA
VIGENTE PARA DISEÑO Y MONTAJE DE EJES
FERROVIARIOS.**

AUTOR: DANIEL BRAOJOS FRADES

TUTOR/DIRECTOR: Dr. JUAN CARLOS GARCÍA PRADA

OCTUBRE 2011

INDICE

	página
Resumen	2
1 Objetivos	3
1.1 Motivación del proyecto	3
1.2 Objetivos	4
1.3 Fases de desarrollo	5
1.4 Esquema de la memoria	7
2 Antecedentes	8
2.1 Introducción al tren de rodadura y los sistemas que conlleva	9
3 Compilación y análisis de normativa de ejes ferroviarios	14
3.1 Introducción	14
3.2 Problemas	14
3.2.1 Fatiga e impacto	14
3.2.1.1 Características de la rotura por fatiga	15
3.2.2 Corrosión	16
3.2.2.1 Impacto de la corrosión en las propiedades de fatiga del acero A1N	16
3.3 Compilación	18
3.4 Metodología de aplicación	22
3.4.1 Metodología de diseño (Bloque normativo 13103 y 13104)	22
3.4.1.1 Objeto y campo de aplicación	23
3.4.1.2 Fuerzas y momentos a aplicar	25
3.4.1.3 Determinación de las características geométricas para las diversas partes del eje	25
3.4.1.4 Esfuerzos máximos permitidos	26
3.4.2 Metodología de montaje (Bloque normativo 13260-13261)	27
3.4.2.1 Definición del producto	27
3.4.2.2. Características del eje montado	27
3.4.2.3 Características de fatiga	29
3.4.2.4 Resistencia al choque y proyecciones	29
3.4.2.5 Protección contra la corrosión	30
3.4.2.6 Resistencia del revestimiento	31
4 Resultados	32
4.1 Bloque de fase de diseño (bloque normativo 13103-13104)	32
4.1.1 Objeto y campo de aplicación	32
4.1.2 Fuerzas y momentos a aplicar	35
4.1.3 Determinación de las características geométricas para las diversas partes del eje	49
4.1.4 Esfuerzos máximos permitidos	57
4.2 Bloque de características de los materiales	61
4.2.1 Fatiga e impacto	61
4.2.2 Corrosión	67
4.3 Bloque fase de montaje (Bloque normativo 13260-13261)	69
4.3.1 Montaje de componentes	69
4.3.2 Características del eje montado	71



4.3.3	Características a fatiga	77
4.3.4	Resistencia al choque y proyecciones	94
4.3.5	Composición química	95
4.3.6	Protección contra la corrosión	95
4.3.7	Resistencia del revestimiento	98
5	Presupuesto	99
6	Conclusiones	100
7	Bibliografía y referencias	101
	Anexos	103
	Anexo normativa 13103 común con 13104	103
	Anexo A: Modelo de la hoja de cálculo para un eje	103
	Anexo B: Proceso para el cálculo del coeficiente de carga para vehículos pendulares	104
	Anexo C: Valores de las fuerzas a tomar en consideración para los ejes montados en vías de ancho reducido (métrico o cercano al metro)	106
	Anexo D: Método de determinación de los límites de fatiga a tamaño real para los nuevos materiales	107
	Anexo D.1: Campo de aplicación	107
	Anexo D.2: Requisitos generales para las probetas de ensayo	107
	Anexo D.3: Requisitos generales para los equipos de ensayo	107
	Anexo D.4: Límite de fatiga del cuerpo del eje ("F1")	108
	Anexo D.4.1: Geometría	108
	Anexo D.4.2: Verificación del esfuerzo aplicado	109
	Anexo D.4.3: Criterio de finalización de ensayo	110
	Anexo D.4.4: Determinación del límite de fatiga	110
	Anexo D.5: Límite de fatiga del hueco del eje ("F2")	110
	Anexo D.5.1: Geometría	110
	Anexo D.5.2: Verificación del esfuerzo aplicado	111
	Anexo D.5.3: Criterio de finalización de ensayo	111
	Anexo D.5.4: Determinación del límite de fatiga	111
	Anexo D.6: Límite de fatiga de la zona de calado ("F3" y "F4")	111
	Anexo D.6.1: Geometría	111
	Anexo D.6.2: Verificación del esfuerzo aplicado	113
	Anexo D.6.3: Criterio de finalización de ensayo	113
	Anexo D.6.4: Determinación del límite de fatiga	113
	Anexo D.7: Información incluida en el informe de ensayo	114
	Anexo ZA: Capítulos de esta norma europea relacionados con los requisitos esenciales u otras disposiciones de la directiva 96/48/CE modificada por la directiva 2004/50/CE	115
	Anexo ZB: Capítulos de esta norma europea relacionados con los requisitos esenciales u otras disposiciones de la directiva 2001/16/CE modificada por la directiva 2004/50/CE	116

Anexo normativa 13260	117
Anexo A: Características de la curva de calado a presión	117
Anexo B: Características de fatiga de un eje montado con eje de acero de grado EA1T o EA4T	118
Anexo C: Información sobre la probeta para ensayos de fatiga	119
Anexo D: Documentos para la identificación de los componentes del eje montado	121
Anexo E: Cualificación del producto	126
Anexo E.1: Generalidades	126
Anexo E.2: Requisitos	126
Anexo E.2.1: Requisitos a cumplir por el proveedor	126
Anexo E.2.1.1: Generalidades	126
Anexo E.2.1.2: Organización de la calidad	126
Anexo E.2.2: Cualificación del personal	127
Anexo E.2.2.1: Generalidades	127
Anexo E.2.2.2: Equipo	127
Anexo E.2.3: Requisitos a cumplir por el producto	127
Anexo E.3: Procedimiento de cualificación	127
Anexo E.3.1: Generalidades	127
Anexo E.3.2: Documentación requerida	128
Anexo E.3.3: Evaluación de las instalaciones y los procesos de fabricación	128
Anexo E.3.4: Ensayos de laboratorio	129
Anexo E.3.5: Ensayos de los productos terminados	129
Anexo E.4: Certificado de cualificación	130
Anexo E.4.1: Condición de validez	130
Anexo E.4.2: Modificación y ampliación	130
Anexo E.4.3: Transferencia	130
Anexo E.4.4: Caducidad	130
Anexo E.4.5: Anulación	131
Anexo E.5: Expediente de cualificación	131
Anexo F: Entrega del producto	132
Anexo F.1: Generalidades	132
Anexo F.2: Comprobaciones específicas	133
Anexo F.3: Controles optativos	133
Anexo F.3.1: Control dimensional	133
Anexo F.3.2: Examen por ultrasonidos	133
Anexo F.4: Rectificaciones autorizadas	134
Anexo F.5: Documentos	135
Anexo F.5.1: Calado en caliente	135
Anexo F.5.2: Calado a presión	136
Anexo F.5.3: Componentes	136
Anexo F.6: Plan de calidad	136
Anexo F.6.1: Generalidades	136
Anexo F.6.2: Objetivos	137
Anexo F.6.3: Validez	137

Anexo ZA: Capítulos de esta norma europea relacionados con los requisitos esenciales u otras disposiciones de la directiva 96/48/CE modificada por la directiva 2004/50/CE	138
Anexo ZB: Capítulos de esta norma europea relacionados con los requisitos esenciales u otras disposiciones de la directiva 2001/16/CE modificada por la directiva 2004/50/CE	139
Anexo normativa 13261	141
Anexo A: Características especiales para ejes de acero de grados EA1T y EA4T	141
Anexo A.1: Composición química	141
Anexo A.2: Características mecánicas	141
Anexo A.2.1: Características del ensayo de tracción	141
Anexo A.2.2: Características de la resistencia al choque	141
Anexo A.2.3: Características de fatiga	142
Anexo A.3: Características metalográficas	142
Anexo B: Cuña normalizada para medición de la permeabilidad a los ultrasonidos	143
Anexo B.1: Probeta	143
Anexo B.2: Tolerancias de la cuña	143
Anexo B.3: Grado de acero	143
Anexo C: Método para evaluar la resistencia del revestimiento al choque	144
Anexo C.1: Principio	144
Anexo C.2: Probeta	144
Anexo C.3: Dispositivo de ensayo	144
Anexo C.4: Procedimiento	144
Anexo C.5: Expresión de los resultados	144
Anexo D: Método para evaluar la resistencia del revestimiento a las proyecciones de gravilla	145
Anexo D.1: Principio	145
Anexo D.2: Probeta	145
Anexo D.3: Dispositivo de ensayo	145
Anexo D.4: Procedimiento	145
Anexo D.5: Expresión de los resultados	145
Anexo E: Método para evaluar la resistencia del revestimiento a determinados productos corrosivos	147
Anexo E.1: Principio	147
Anexo E.2: Probeta	147
Anexo E.3: Dispositivo de ensayo	147
Anexo E.4: Productos corrosivos	147
Anexo E.5: Procedimientos	148
Anexo E.6: Expresión de los resultados	148
Anexo F: Método para evaluar la resistencia del revestimiento frente a esfuerzos mecánicos cíclicos	149
Anexo F.1: Objeto	149
Anexo F.2: Principio	149



Anexo F.3: Probeta	149
Anexo F.4: Dispositivo de ensayo	149
Anexo F.5. Procedimiento	150
Anexo F.6: Expresión de resultados	150
Anexo G: Medición del contenido de hidrógeno en el acero de ejes en el momento de su fundición	151
Anexo G.1: Muestreo	151
Anexo G.2: Métodos de análisis	151
Anexo G.3: Precauciones	151
Anexo H: Dibujos de probetas	152
Anexo I: Calificación del producto	154
Anexo I.1: Introducción	154
Anexo I.2: Generalidades	154
Anexo I.3: Requisitos	155
Anexo I.3.1: Requisitos que debe cumplir el proveedor	155
Anexo I.3.1.1: Generalidades	155
Anexo I.3.1.2: Organización de la calidad	155
Anexo I.3.1.3: Calificación del personal	155
Anexo I.3.1.4: Equipo	155
Anexo I.3.2: Requisitos a cumplir por el producto	155
Anexo I.4. Procedimiento de calificación	156
Anexo I.4.1: Generalidades	156
Anexo I.4.2: Documentación requerida	156
Anexo I.4.3: Evaluación de las instalaciones y de los procesos de producción	157
Anexo I.4.4: Ensayos de laboratorio	157
Anexo I.5: Certificado de calificación	158
Anexo I.5.1: Condición de validez	158
Anexo I.5.2: Modificación y ampliación	158
Anexo I.5.3: Transmisión	158
Anexo I.5.4: Caducidad	158
Anexo I.5.5: Anulación	159
Anexo I.6: Expediente de calificación	159
Anexo J: Suministro de producto	160
Anexo J.1: Introducción	160
Anexo J.2. Generalidades	160
Anexo J.3: Condiciones de entrega	161
Anexo J.4: Controles de cada eje	161
Anexo J.5: Control por lotes	162
Anexo J.5.1: Controles	162
Anexo J.5.2. Permeabilidad a los ultrasonidos	162
Anexo J.5.2.1. Generalidades	162
Anexo J.5.2.2: Nivel a obtener	163
Anexo J.5.2.3: Probeta	163
Anexo J.5.2.4: Método de ensayo	163
Anexo J.5.3: Acabado de la superficie	163
Anexo J.5.4: Control visual	163
Anexo J.6: Plan de calidad	164
Anexo J.6.1: Generalidades	164



Anexo J.6.2. Objetivos	164
Anexo J.6.3. Aplicación del plan de calidad	164
Anexo J.7: Rectificación autorizada	165
Anexo ZA: Capítulos de esta norma europea relacionados con los requisitos esenciales u otras disposiciones de la directiva 96/48/CE modificada por la directiva 2004/50/CE	166
Anexo ZB: Capítulos de esta norma europea relacionados con los requisitos esenciales u otras disposiciones de la directiva 2001/16/CE modificada por la directiva 2004/50/CE	167

INDICE DE FIGURAS

	página
Figura 1	Diseños de eje montado 10
Figura 2	Zonas de la sección de un eje fracturado por fatiga 15
Figura 3	Organigrama general 18
Figura 4	Organigrama fase de diseño 19
Figura 5	Organigrama de las características del material 20
Figura 6	Organigrama de la fase de montaje 21
Figura 7	Fuerzas debidas a las masas en movimiento 35
Figura 8	Momentos y fuerzas 37
Figura 9	Efectos debidos al frenado 40
Figura 10 a	Detalle a 49
Figura 10 b	Detalle b 49
Figura 11	Coeficiente de concentración de esfuerzos K en función de D/d y r/d (en la transición inferior entre dos partes cilíndricas) 50
Figura 12	Coeficiente de concentración de esfuerzos K en función de D/d y r/d (fondo de la acanaladura) 51
Figura 13 a	Detalle a 52
Figura 13 b	Detalle b 52
Figura 13 c	Detalle c 52
Figura 14	Zonas de transición entre: la mangueta y la zona de calado del obturador y entre la zona de calado de la rueda 53
Figura 15	Detalle a de la figura 15 54
Figura 16	Detalle b de la figura 15 54
Figura 17	Transición entre la mangueta y la zona de calado del obturador 54
Figura 18	Transición entre el cuerpo y la zona de calado 55
Figura 19	Características geométricas de las entallas 59
Figura 20	Propagación de grieta 62
Figura 21	Proceso de pulverizado 63
Figura 22	Zonas de pulverizado 63
Figura 23	Influencia de la corrosión en el límite de fatiga 64
Figura 24	Tiempos de corrosión 67
Figura 25	Parámetros de la rueda 73
Figura 26	Eje con una única zona de calado para uno o dos discos de freno 74
Figura 27	Eje con dos zonas de calado para dos o cuatro discos de freno 74
Figura 28	Ruedas dentadas cilíndricas para ejes motores, reductores, etc. 75
Figura 29 a	Eje macizo 78
Figura 29 b	Eje hueco 78
Figura 30 a	Eje macizo 80
Figura 30 b	Eje hueco 80
Figura 31 a	Entalla para la determinación de Rf 82
Figura 31 b	Entalla para la determinación de F2 82
Figura 32	Localización de la muestra para el examen micrográfico 83



Figura 33	Posición de los puntos de medición	85
Figura 34	Símbolos para el acabado de la superficie	87
Figura 35	Zonas	88
Figura 36	Símbolos para las tolerancias geométricas	91
Figura 37	Símbolos para las tolerancias dimensionales	93
Figura 38	Probetas para el ensayo de niebla salina	97

ANEXOS

Anexos de las normativas 13103 y 13104

Figura A.1		103
Figura D.1	Ejemplos de configuración de ensayo	108
Figura D.2	Geometría de la probeta de ensayo	108
Figura D.3	Instrumentación de galgas de extensométricas	109
Figura D.4	Geometría de la probeta	110
Figura D.5	Parámetros geométricos para F3 y F4	112
Figura D.6	Influencia de la relación de de diámetros D/d	112

Anexos de la normativa 13260

Figura A.1	Características de la curva de calado a presión	117
Figura C.1	Plano de la geometría de la probeta necesaria para los ensayos de fatiga	119
Figura C.2	Ejemplo de probeta de ensayo	120
Figura D.1	Documento para la identificación de los componentes de un eje montado independiente, en general de categoría 1, o un eje montado motor	122

Anexos de la normativa 13261

Figura H.1	Probeta a escala reducida para determinar el límite de fatiga del acero	152
Figura H.2	Probeta a escala reducida para evaluar la resistencia del revestimiento sometido a esfuerzos mecánicos cíclicos	152
Figura H.3	Probeta de tamaño real para ensayo de fatiga	153

INDICE DE TABLAS

	página
Tabla 1	Nomenclatura usada en las normativas 33
Tabla 2	Definición de masas 36
Tabla 3	Valores de las fuerzas 38
Tabla 4	Fórmulas aplicadas para el cálculo de momentos 39
Tabla 5	Componentes del momento flector 41
Tabla 6	Esfuerzos máximos permitidos para ejes macizos con calidad de acero EA1N 58
Tabla 7	Esfuerzos máximos permitidos para ejes huecos con calidad de acero EA1N 58
Tabla 8	Esfuerzos máximos permitidos para ejes macizos con calidad de acero EA4T 60
Tabla 9	Esfuerzos máximos permitidos para ejes huecos con calidad de acero EA4T 60
Tabla 10	Resultados de la prueba a fatiga 64
Tabla 11	Métodos para la detección de microgrietas 65
Tabla 12	Valores mínimos para ejes montados con un eje de acero EA1N 71
Tabla 13	Valores máximos de desequilibrio 72
Tabla 14	Tolerancias de los parámetros de la rueda 73
Tabla 15	Desviación axial de la cara interna 73
Tabla 16	Tolerancias para los ejes con una zona de calado para uno o dos discos de freno 74
Tabla 17	Tolerancias para ejes con dos zonas de calado para dos o cuatro discos de freno 74
Tabla 18	Tolerancias de ruedas dentadas cilíndricas para ejes motores, reductores, etc. 75
Tabla 19	Valores a obtener a mitad del radio en ejes macizos o en el punto medio entre las superficies interior y exterior en ejes huecos 77
Tabla 20	Valores a obtener a la mitad del radio en ejes macizos o a la mitad de la distancia entre las superficies interior y exterior en ejes huecos 79
Tabla 21	Valores límite de fatiga 81
Tabla 22	Valores máximos de inclusiones en serie fina y gruesa 83
Tabla 23	Calibración para el ensayo de permeabilidad 85
Tabla 24	Acabado de la superficie 86
Tabla 25	Límites de defectos longitudinales 89
Tabla 26	Tolerancias geométricas 90
Tabla 27	Tolerancias dimensionales 92
Tabla 28	Valores límites por análisis del producto (%) 95
Tabla 29	Revestimientos protectores 96

ANEXOS

Anexos de la normativas 13103 y 13104

Tabla B.1		105
Tabla C.1		106
Tabla ZA.1	Correspondencia entre esta norma Europea y la Directiva 96/48/CE	115
Tabla ZB.1	Correspondencia entre esta norma Europea y la Directiva 2001/16/CE	116

Anexos de la normativa 13260

Tabla B.1	Valores mínimos de tensión en N/mm ²	118
Tabla D.1	Información relativa a las características de los ejes montados	124
Tabla ZA.1	Correspondencia entre la norma Europea y la Directiva 96/48CE	138
Tabla ZB.1	Correspondencia entre la norma Europea y la Directiva 2001/16/CE	139

Anexos de la Normativa 13261

Tabla A.1	Límite máximo por análisis del producto (%)	141
Tabla A.2	Valores a analizar en la mitad del radio en ejes macizos o en el punto medio de la superficie interior y exterior en ejes huecos	141
Tabla A.3	Valores a analizar en la mitad del radio en ejes macizos o en el punto medio de la superficie interior y exterior en ejes huecos	141
Tabla A.4	Tensiones límites de fatiga	142
Tabla D.1	Resultados	146
Tabla J.1	Naturaleza y número de controles a realizar	162
Tabla ZB.1	Correspondencia entre esta norma Europea y la Directiva 96/48/CE	166
TablaZB.2	Correspondencia entre esta normativa europea y la Directiva 2001/16/CE	167

RESUMEN.

El proyecto presente trata la normativa aplicada a ejes ferroviarios y la sintetiza con el objetivo de clarificar el proceso a seguir por la misma para su diseño, fabricación, montaje y comprobaciones correspondientes, y de aunar todas las consignas principales en un único documento facilitando la accesibilidad a dicha información. Con este procedimiento también se aclaran posibles conflictos entre normativas.

Este capítulo principal del proyecto se complementa con la explicación de los métodos utilizados en el diseño y la fabricación de ejes, una introducción al funcionamiento y la importancia de estos elementos mecánicos dentro de los sistemas motrices y la relación que tienen con otros sistemas como el de suspensión o frenado, por participar en ellos. De esta forma se realiza un análisis global de la afección sobre el conjunto mecánico que genera la normativa de ejes ferroviarios. Además se estudiará brevemente las causas que producen los problemas más frecuentes e importantes.

Cabe comentar que no se tratarán todas las normativas relacionadas con ejes ferroviarios, sino las más importantes y aquellas cuyo objetivo sea eliminar los problemas antes citados o reducirlos lo máximo posible. Por tanto, el grueso de este proyecto se basará en las siguientes normativas:

EN ISO 13103

EN ISO 13104

EN ISO 13260

EN ISO 13261

Tomando además referencias o métodos de otras normativas que guardan relación con el eje ferroviario, como por ejemplo las normativas ISO 6507-1 e ISO 9227 entre otras, que adoptan como tema principal a tratar el material, ya sea características o propiedades mecánicas como la dureza (ISO 6507-1) o la resistencia a la corrosión (ISO 9227). Estas normativas solamente aparecerán referenciadas o indicadas, dado que el porcentaje de información relevante para este proyecto de las mismas es pequeño.



1. OBJETIVOS.

1.1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO.

El siguiente proyecto es un documento que trata acerca de ejes ferroviarios, más concretamente de la normativa que se aplica en su diseño y fabricación y con la cual se consiguen evitar averías y accidentes ferroviarios. Es de relevante importancia dado que el eje es un elemento vital en el conjunto mecánico de cualquier transporte, y de manera especial en ferrocarriles, a causa de la utilización de bogies que realizan la función de diferenciales, y sistemas de amortiguación y suspensión de los cuales forma parte. Además tiene un gran peso al realizar análisis dinámicos de aceleración y frenada. Hay que tener en cuenta que el eje es un elemento que no debe permitirse su fractura bajo ningún concepto porque esto desembocaría en un accidente de gran magnitud, puesto que el vehículo ferroviario perdería el control y muy probablemente acabaría descarrilando, lo que supondría una gran cantidad de afectados dado su gran capacidad de transporte (en torno a 1450 pasajeros en un tren convencional de RENFE), y número de pasajeros diario, unos 1.250.000 (según datos oficiales del primer trimestre del 2011).



1.2. OBJETIVOS.

El objetivo principal del proyecto es realizar un resumen de la normativa vigente utilizada en el diseño y la fabricación de estos elementos mecánicos, de tal manera que compacte y facilite el acceso a la información o documentación necesaria. Así pues, el contenido se organizará de la siguiente forma, diferenciando entre la normativa utilizada para los siguientes campos:

- Método de diseño (13103 y 13104).
- Requisitos de producto (13260 y 13261).

Tras esto, se elaborará un pequeño manual de indicaciones redactando el proceso a seguir a la hora de utilizar la normativa para fabricar un eje ferroviario.

Como subobjetivos del proyecto se declaran:

- Una introducción al mundo ferroviario, y más específicamente al entorno del eje ferroviario, a través de la explicación de su importancia y participación en el apartado mecánico.
- Un pequeño análisis de las causas más comunes por las que se producen fallos en los ejes ferroviarios.

1.3. FASES DE DESARROLLO.

Para llevar a cabo la realización de este proyecto se han seguido distintas fases de desarrollo claramente diferenciadas. A continuación se enumeran y exponen de manera ordenada:

1º Introducción al mundo del ferrocarril.

Lectura y comprensión de diversos libros que tratan sobre el ferrocarril y ejes ferroviarios, con el objetivo de aprender más acerca de este sistema de transporte. Además, gracias a ello se identifican las normativas aplicadas a la fabricación y el diseño de sus elementos mecánicos, entre ellos, los ejes ferroviarios.

2º Organización inicial del proyecto.

Se planifica la organización del proyecto, en el presente caso modular, es decir, se trabaja por módulos o bloques, de manera que si posteriormente se debe alterar o modificar algo, no haga falta modificar todo el contenido sino simplemente el módulo correspondiente e integrarlo en el apartado correspondiente. Estos módulos se identifican como:

- Resumen, introducción e índices.
- Introducción a los sistemas integrados o en los que participa el eje ferroviario.
- Problemas presentes a solucionar y cómo se minimizan con la correcta utilización de la normativa.
- Resumen de normativa vigente para diseño y fabricación de ejes ferroviarios, subdividido en:
 - EN ISO 13103 y EN ISO 13104.
 - EN ISO 13260 y EN ISO 13261.
- Anexos correspondientes a las normativas resumidas, necesarios para llevar a cabo los cálculos consecuentes.
- Presupuesto.
- Conclusiones y bibliografía.

3º Búsqueda, petición y consecución de normativas.

Búsqueda en bibliotecas y páginas de consulta de las normativas requeridas para la realización del proyecto, posterior petición a organismos competentes en persona y por solicitud formal (RENFE, AENOR, METRO, UNIFE...) de las normativas, y por último, consecución de dichas normativas a través del paso anterior o comprándolas.

4º Redacción del proyecto.

Se trabaja en el proyecto, llevando a cabo la redacción de todos y cada uno de los módulos antes descritos, con el siguiente orden:

- Antecedentes.
- Compilación y análisis de normativa de ejes ferroviarios.
- Manual de procedimiento.
- Anexos correspondientes a la normativa compilada.
- Resumen, introducción e índices.
- Conclusiones y bibliografía.
- Presupuesto.

5º Organización final del proyecto.

Se reorganiza el proyecto con el objetivo de conseguir la mejor presentación viable del mismo, con la posible ampliación, modificación o eliminación de alguno de los módulos de trabajo.

6º Revisión y corrección del proyecto.

Se revisa concienzudamente la totalidad del proyecto con el fin de pulir y mejorar su estado final. Se corrigen posibles fallos de redacción o numeración.

7º Presentación.

Se prepara y realiza la presentación que debe llevarse a cabo frente al tribunal.

1.4. ESQUEMA DE LA MEMORIA.

- 1- Objetivos. En este apartado se declaran los objetivos del proyecto, la motivación del mismo y se redacta el proceso seguido para su realización.
 - 2- Antecedentes. Una pequeña introducción para entender la naturaleza del proyecto y el ámbito en que se desarrolla.
 - 3- Compilación y análisis de normativa de ejes ferroviarios. En él se explican los diferentes problemas que pueden generarse en el tema de estudio (ejes ferroviarios), se expone un organigrama explicativo de las normativas a utilizar, y se redacta la metodología a aplicar.
 - 4- Resultados: Manual de procedimiento. Una guía del total de las normativas necesarias para llevar el proceso de diseño y montaje a cabo.
 - 5- Presupuesto. Se detallan los costes de la realización de este estudio.
 - 6- Conclusiones. Se declaran las conclusiones obtenidas tras la realización del proyecto, destacando si se cumplen los objetivos marcados o no.
 - 7- Bibliografía y referencias. Se enumeran las fuentes de información utilizadas para la realización del proyecto.
- Anexos- Anexos pertenecientes a las normativas analizadas, con los correspondientes cálculos y valores necesarios para su correcta utilización.

2. ANTECEDENTES.

El ferrocarril es un sistema de transporte terrestre de personas y mercancías guiado sobre carriles o rieles. Se trata de un transporte con ventajas comparativas en ciertos aspectos, tales como el consumo de combustible por tonelada/kilómetro transportada, la entidad del impacto ambiental que causa o la posibilidad de realizar transportes masivos, que hacen relevante su uso en el mundo moderno. A continuación se comentan los hechos más representativos de su historia.

La primera evidencia de una línea de ferrocarril fue una línea de 6 kilómetros siguiendo el camino Diolkos, que se utilizaba para transportar barcos a lo largo del istmo de Corinto durante el siglo VI a. C. Las plataformas eran empujadas por esclavos, y eran guiados por hendiduras excavadas sobre la piedra. La línea se mantuvo funcionando durante 600 años.

El desarrollo del motor de vapor fue un hecho clave en el mundo ferroviario dado que impulsó la idea de crear locomotoras de vapor que pudieran arrastrar trenes por líneas. La primera fue patentada por James Watt en 1769 y revisada en 1782, pero los motores eran demasiado pesados como para ser utilizados en locomotoras. En 1804, utilizando un motor de alta presión, Richard Trevithick presentó la primera locomotora capaz de arrastrar un tren. Realizada junto a Andrew Vivian, la prueba tuvo un éxito relativo, ya que la locomotora rompió los frágiles raíles de chapa de hierro.

En 1811, John Blenkinsop diseñó la primera locomotora funcional. La locomotora, denominada Salamanca, se construyó en 1812. En 1825, George Stephenson construyó la “Locomotion” para la línea entre Stockton y Darlington, al noreste de Inglaterra, que fue la primera locomotora de vapor en traccionar trenes de transporte público. El éxito de estas locomotoras llevó a Stephenson a crear la primera compañía constructora de locomotoras de vapor que fueron utilizadas en las líneas de Europa y Estados Unidos.

En 1830 se inauguró la primera línea de ferrocarril interurbano, la línea entre Liverpool y Manchester. La vía utilizada era del mismo tipo que otras anteriores, como la ferrocarril entre Stockton y Darlington. Su ancho era de 1.435 mm, actualmente conocido como ancho internacional ya que es utilizado por aproximadamente el 60% de los ferrocarriles actuales. En los años siguientes, el éxito de las locomotoras de vapor hizo que las líneas de ferrocarril y las locomotoras se extendieran por todo el mundo.

A día de hoy, gracias a la tecnología, se han producido enormes avances, incluso la utilización de sistemas de guiado imantados para trenes de levitación magnética.

2.1. INTRODUCCIÓN AL TREN DE RODADURA Y LOS SISTEMAS QUE CONLLEVA.

El eje montado es un elemento mecánico clave en el conjunto del vehículo. No sólo se encarga de transmitir el giro a las ruedas o entre ellas, sino que interviene de manera directa o indirecta en el sistema mecánico de suspensión y amortiguamiento. La función de este sistema es mejorar la estabilidad y confortabilidad del vehículo, mejorando sus propiedades de manera notoria.

A continuación se denominan determinados conceptos imprescindibles para la comprensión de la funcionalidad del eje ferroviario y se resume brevemente el sistema de suspensión.

Eje montado.

Eje montado: Consiste en dos ruedas unidas fijamente a un eje común. Esto implica que ambas tengan la misma velocidad angular y mantengan una distancia constante entre ellas.

El eje montado proporciona:

- La distancia necesaria entre el vehículo y la vía.
- El movimiento de lazo que determina el movimiento dentro de la vía, incluyendo las curvas y agujas.
- Los medios de transmisión de las fuerzas de tracción y de frenado a los raíles para acelerar y decelerar el vehículo.

El diseño del eje montado depende de:

- El tipo de vehículo (si ejerce tracción o es remolcado).
- El tipo de sistema de frenado utilizado (zapata en rueda, disco de freno calado en eje o disco de freno montado en rueda).
- La construcción del centro de la rueda y la posición de cojinetes o rodamientos respecto al eje (interior o exterior).
- El deseo de limitar fuerzas de una frecuencia más alta usando elementos elásticos entre el centro de la rueda y la llanta.

Los tipos principales de diseño de eje montado se muestran en la figura 1. Todos ellos tienen dos características comunes: la conexión rígida entre las ruedas a través del eje y el perfil normal de la superficie de rodadura de la rueda.

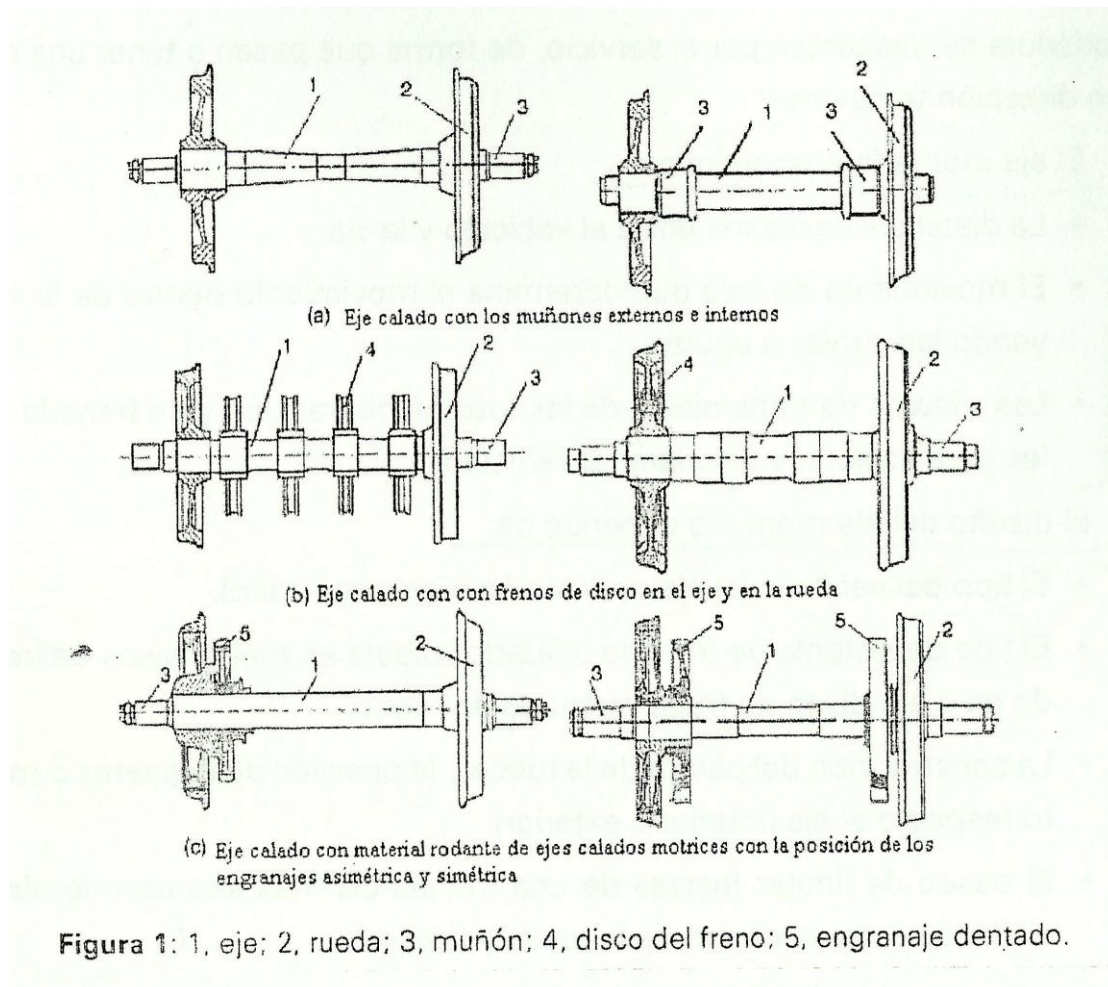


Figura1. Diseños de eje montado.

Los perfiles de la rueda son resultados generalmente a su forma de diseño mediante torneados periódicos. Esto se puede realizar normalmente sin la necesidad de quitar el eje montado del vehículo.

Las ruedas y el eje son las partes más críticas del material rodante ferroviario. Un mal diseño o un fallo mecánico pueden provocar la rotura de los mismos.

La mejora de la fiabilidad de los rodamientos, despertó el interés en las ruedas que rotaban independientemente y que proporcionan reducciones significativas en la masa no suspendida debido a la eliminación del eje. Por desacoplamiento de las ruedas, el eje montado que rota independientemente, elimina la mayoría de las fuerzas de guiado en el eje. Tales ejes han encontrado aplicaciones, ya sea en material rodante de ancho de vía variable, que permite una transición rápida de un ancho de vía a otro, o en transporte urbano sobre raíles donde un bajo nivel de suelo es necesario.

Suspensión.

Es el conjunto de elementos destinados a amortiguar las vibraciones de la caja del vehículo producidas por las desigualdades de la vía. Está formada por un sistema de elementos elásticos y amortiguadores.

Si el bogie tiene un bastidor rígido, la suspensión consiste generalmente en dos etapas: Suspensión primaria conectando los ejes montados con el bastidor del bogie, y la suspensión secundaria entre el bastidor y el bogie y la caja del vehículo. A veces, típicamente en bogies de carga, se utiliza solamente una suspensión de una etapa.

- La suspensión primaria, es el conjunto de elementos que tiende a distribuir uniformemente la carga del vehículo en los ejes del mismo.
- La suspensión secundaria, suaviza los movimientos relativos entre el bogie y la caja del vehículo. Ésta puede ser mecánica o neumática.

Elementos elásticos: Resortes.

Se utilizan para:

- Igualar las cargas verticales entre las ruedas.
- Estabilizar el movimiento de vehículos en la vía
- Reducir las fuerzas y las aceleraciones dinámicas.

Amortiguadores.

Un amortiguador es el dispositivo que controla oscilaciones en la suspensión mediante la disipación de energía.

La amortiguación es proporcionada generalmente por dispositivos de amortiguación viscosa o de fricción.

La amortiguación de vibraciones se puede obtener también por otros medios tales como la introducción de amortiguadores activos controlados proporcionalmente a la velocidad.

Los amortiguadores de fricción transforman la energía de oscilaciones en energía térmica por la fricción seca. Se usan en vehículos de carga por su bajo coste y simplicidad. Pueden clasificarse en cuatro tipos. Integrados en el elemento elástico, integrados en la suspensión del resorte, telescópicos y de palanca.

Tienen las siguientes desventajas: Amortiguación subóptima con carga parcial, dificultad de controlar la fricción a los valores de diseño deseados y los cambios de niveles de la fricción mientras que las caras se usan y vuelven contaminadas en servicio.

Los amortiguadores telescópicos tienen la ventaja de ser autónomos, protegidos del ambiente, pueden ser instalados en cualquier ángulo excepto verticalmente y pueden ser examinados y reparados sin elevar la carrocería del coche.

No son ampliamente utilizados en vehículos de carga debido a que se requiere una cuña integrada de fricción para resistir el alabeo en planos verticales y horizontales.

Selección de las características verticales de la suspensión.

La deformación estática de una suspensión con características lineales (rigidez constante) viene determinada por la siguiente fórmula: $f_{st} = P_{st}/c$

Donde P_{st} es la carga estática de la suspensión y c es la rigidez de la suspensión.

Para una suspensión lineal hay una dependencia entre la frecuencia natural de la oscilación y la deformación estática: $\omega^2 = c/M = g/f_{st}$

Donde M es la masa suspendida del vehículo y g es la aceleración de la gravedad.

Disminuir la rigidez de la suspensión es favorable para el funcionamiento dinámico de los vehículos de carril si otras condiciones no cambian.

También debe tenerse en cuenta el confort de los pasajeros.

Para los vehículos de viajeros, la frecuencia de oscilación del bastidor está generalmente entre los 0.9 y los 1.2 Hz. para los vagones de carga esta frecuencia puede ir desde 2.5 Hz. con carga hasta 4 Hz en vacío.

El valor final de la rigidez vertical para la suspensión se elige para ser el máximo de los valores mínimos calculados usando los límites de servicio y de cálculo.

Selección de la rigidez lateral y longitudinal de la suspensión primaria.

La estabilidad del eje montado aumenta con el aumento de la rigidez de la conexión del bastidor del bogie. La dependencia es altamente no lineal y la relación entre la rigidez de la suspensión, la masa y la conicidad de las ruedas influye en la velocidad crítica. El aumento de la rigidez longitudinal de la suspensión primaria deteriora las características de la dirección del eje montado en curvas mientras que el aumento de la rigidez lateral reduce la capacidad del eje montado de gestionar con seguridad grandes irregularidades laterales.

Para hacer una elección preliminar de la rigidez en el plano del bogie, es útil saber la relación entre la rigidez y la calidad de la rodadura de forma analítica o gráfica.

La solución al problema de estabilidad demuestra que la velocidad crítica de un vehículo ferroviario convencional es función de su rigidez tangencial y de flexión.

3. COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE NORMATIVA DE EJES FERROVIARIOS.

3.1. INTRODUCCIÓN.

En la mayoría de las ocasiones, los problemas que pueden surgir en un eje y que puedan producir su avería o rotura se engloban en tres grandes causas:

- 1- Fatiga.
- 2- Impacto.
- 3- Corrosión.

Las dos primeras causas se deben a fenómenos físicos, concretamente a cargas o esfuerzos que debe soportar el elemento mecánico, y que, a pesar de estar diseñado para soportarlas, a causa de la repetitividad de estas acciones acaba por no resistir dichas fuerzas. La corrosión en cambio es un fenómeno químico producto de la oxidación perjudicial del material.

3.2. PROBLEMAS

3.2.1 FATIGA E IMPACTO.

La fatiga se define como: pérdida de la resistencia mecánica de un material al ser sometido largamente a esfuerzos repetidos.

Hace que se produzca la rotura repentina sin deformación y con cargas aplicadas mucho menores que la resistencia del material. Es más peligroso que el fallo estático, sobre todo en materiales dúctiles. El 80 por ciento de los casos de fallo en servicio es debido a la fatiga.

Un eje siempre estará sometido a fatiga, si es motriz o acompaña el giro de los elementos que conecta siempre estará sometido a la fatiga que genera el peso o carga que soporte. En cambio, es indiferente que sea fijo o no para la siguiente carga, puesto que siempre afecta a cualquier tipo de estos elementos, al tratarse de ejes para vehículos móviles, en este caso más particular vehículos ferroviarios. Se trata de vibraciones producidas por irregularidades de terreno o vía, por factores de amortiguación del vehículo o por fuerzas externas como pueden producir el aire u otros factores climatológicos o el movimiento de pasajeros en el interior del transporte.

3.2.1.1 Características de la rotura por fatiga.

El origen de la rotura por fatiga es un punto de concentración de tensiones en la superficie de rotura.

En un eje de transmisión se aprecian claramente tres zonas bien definidas:

- La primera, abarca más de la mitad de la sección del eje. Tiene un aspecto liso conoidal y representa estados de propagación de la grieta inicial, cuyo origen es el borde anguloso de la chaveta (concentrador de tensiones). Esta grieta se propaga lentamente de forma asimétrica, lo que es típico de las fracturas por fatiga en ejes rotatorios. Existe una tendencia de la grieta a propagarse preferentemente en la dirección opuesta a la de rotación del eje, por lo que se deduce que el sentido de giro era horario.
- La segunda zona, de velocidad de propagación más elevada, cubre casi el resto de la sección del eje y presenta un aspecto rugoso.
- La tercera zona, es donde se produce la fractura final, que tuvo lugar de una forma dúctil y aparece como una pequeña área oscura a la derecha de la sección. El tamaño de la sección indica las pequeñas cargas a las que estaba sometido el eje. Si su aspecto es cristalino, el material es frágil, pero si es fibroso el material es dúctil.

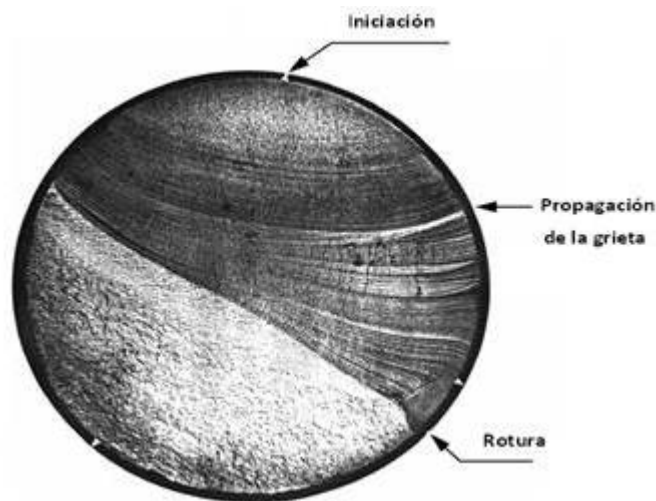


Figura 2. Zonas de la sección de un eje fracturado por fatiga.

3.2.2 CORROSIÓN

3.2.2.1. Impacto de la corrosión en las propiedades de fatiga del acero A1N.

La fatiga por corrosión se ha convertido en uno de los problemas principales en el diseño de ejes ferroviarios.

La fatiga por corrosión se está convirtiendo en una materia importante en la evaluación de la integridad estructural de los ejes ferroviarios debido a que recientes fallos de estos han sido atribuidos tanto a la presencia de puntos de corrosión como a superficies corroídas en ellos. A pesar de su importancia, los estándares europeos de normalización (EN Standards del Comité Europeo de Normalisation CEN) existentes no cuantifican de manera precisa el efecto que podría haber en la resistencia a fatiga de un eje ferroviario debido a defectos por corrosión o fatiga por corrosión.

La corrosión encontrada típicamente en los ejes es significativa desde el punto de vista de las propiedades de la fatiga y que la duración de dicho acero está fuertemente afectado por la presencia de un medio medianamente corrosivo, como por ejemplo, el agua de lluvia. Los resultados de las pruebas de fatiga son consistentes con la reducción de la fatiga que se sugieren en las recomendaciones técnicas de la BASS (buenas prácticas).

Se ha hecho necesario aumentar la atención en el análisis de las propiedades de fatiga y el crecimiento de las fisuras en los ejes ferroviarios para definir mejor los diseños en cuanto a fatiga y planear la inspección de dichos componentes. Sin embargo, hasta ahora, la corrosión difusa que puede aparecer en algunas áreas de los ejes y la posibilidad de que los puntos de corrosión puedan aumentar la nucleación y la consiguiente propagación de la rotura por fatiga no ha sido considerada (cuando se definen propiedades de fatiga sobre los ejes).

Algunos informes de referencias bibliográficas informan de los fallos de ejes por fatiga debido a la propagación de los puntos de corrosión. Hoddinott avisa a cerca de cinco fallos de envergaduras medias de ejes que estaban en servicio ocurridos en el Reino Unido desde 1996 hasta 2003, y cuatro de ellos han sido relacionados con la presencia de superficies con corrosión por difusión y puntos de corrosión. Al otro lado del Atlántico, el departamento para la seguridad del transporte de Canadá ha informado sobre el fallo de un eje causado por puntos de corrosión bajo el uso diario. También hay que mencionar que otros siete fallos similares han ocurrido entre 1998 y 2000.

Los efectos de la corrosión en las propiedades de la fatiga pueden ser inicialmente observadas como un número de defectos superficiales, los cuales obviamente reducen la resistencia a fatiga del eje (esto parece ser el efecto descrito por Hoddinott en uno de los casos), en cualquier caso la fatiga por corrosión afecta perjudicialmente tanto a la iniciación como el crecimiento de la fisura. Este fenómeno se caracteriza por la formación de un número suficiente de fisuras cuya nucleación se favorece por los puntos debidos al ambiente agresivo. Estas pequeñas fisuras son capaces de cruzar las “barreras microestructurales” con facilidad y poseen una velocidad de propagación más rápida que en el aire. Estos efectos causan un gran decremento en las propiedades de la fatiga incluso en ambientes comunes. Los ensayos de fatiga rotatoria por flexión de un acero al carbono templado en agua de grifo muestran una reducción de la resistencia a fatiga del 50 %. Este hecho experimental muestra un efecto perjudicial según el ambiente en los diagramas S-N y deben ser tomados en cuenta aplicando una reducción del límite de diseño a fatiga. Sin embargo, los estándares EN13103/4 no consideran este tipo de reducción de la resistencia de fatiga y confían en el mantenimiento adecuado del eje.

El procedimiento experimental descrito en el siguiente apartado esta además basado en una aproximación secuencial y no en un “par” de aproximaciones.

- Primera etapa: corrosión inducida que daña el material libre de tensión mecánica.
- Segunda etapa: daño inducido por la fatiga mecánica en las condiciones de la pieza.

3.3 COMPILACIÓN

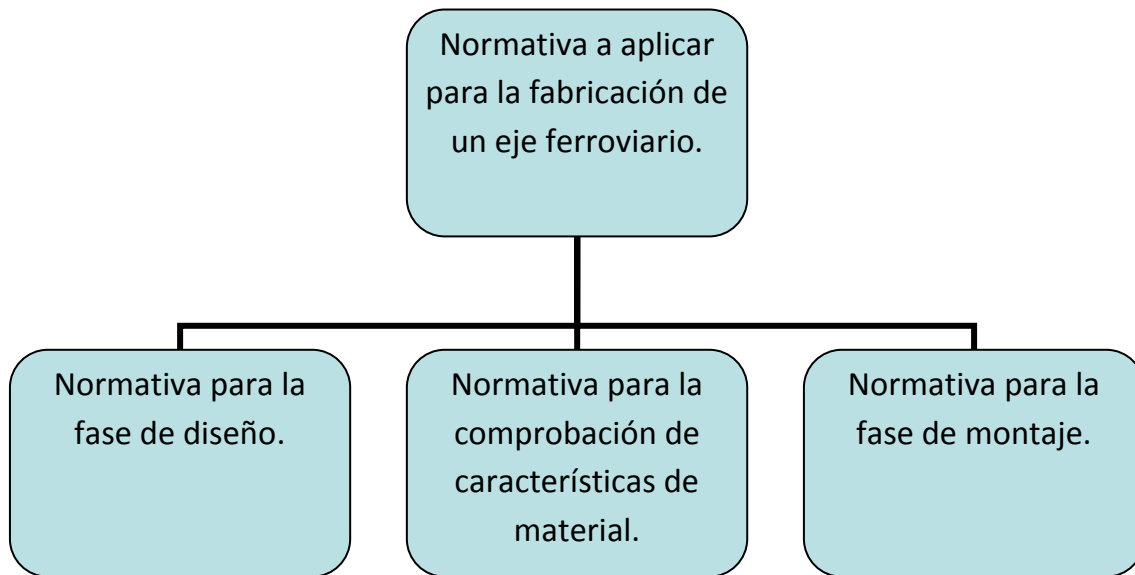


Figura 3. Organigrama general.

La normativa necesaria para poder diseñar y fabricar correctamente un eje ferroviario se divide en tres grandes grupos y conlleva el siguiente orden:

- 1- Normativa para la fase de diseño.
- 2- Normativa para la comprobación de características del material.
- 3- Normativa para la fase de montaje.

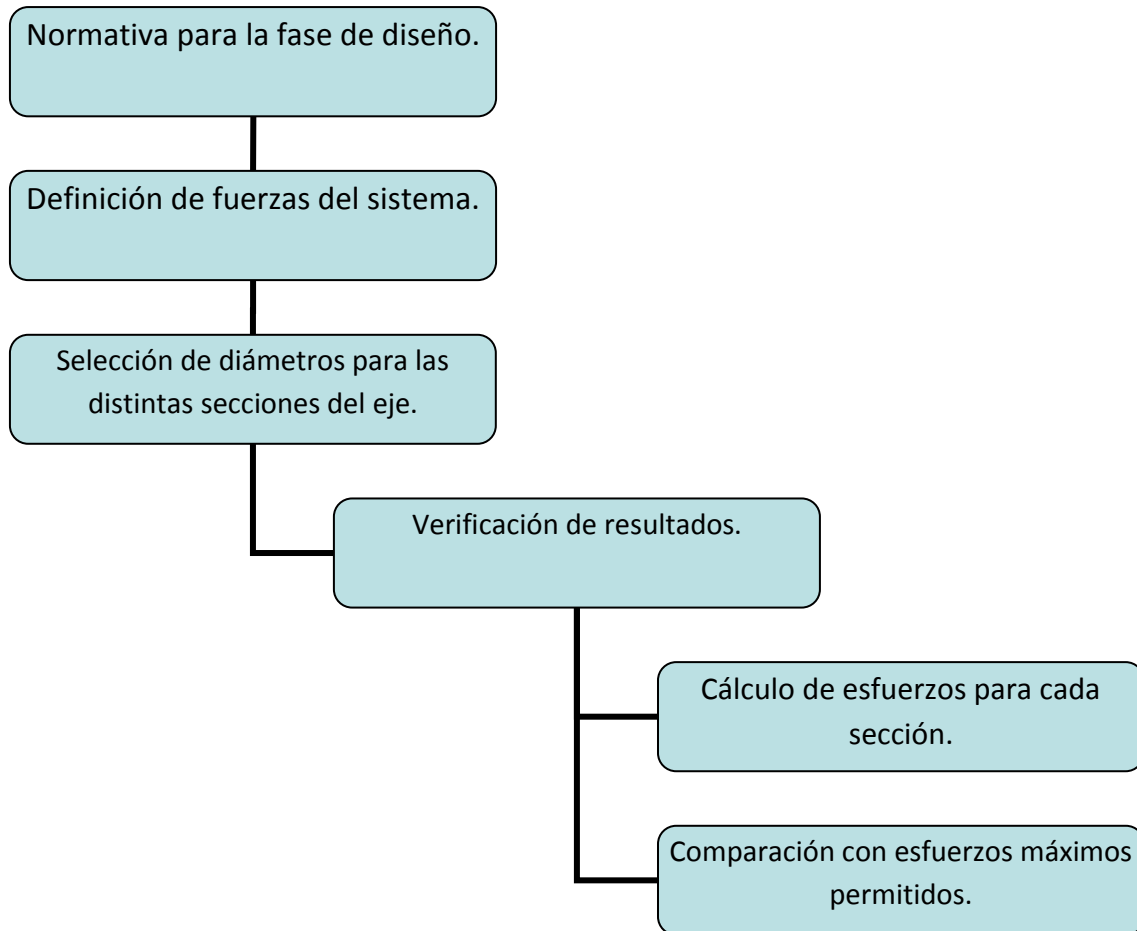


Figura 4. Organigrama fase de diseño.

En la fase de diseño deben seguirse los pasos de las normas EN 13103 y EN 13104. Por tanto, primero deben definirse las fuerzas del sistema tanto las generadas por masas en movimientos como las provocadas por los efectos de tracción y frenado, a continuación seleccionarse los diámetros correspondientes al cuerpo del eje y las manguetas, e inmediatamente después los del resto de secciones, y una vez hecho esto se deben verificar los resultados obtenidos a través del cálculo de esfuerzos para cada sección del eje y la comparación con los esfuerzos máximos permitidos en función de la calidad del acero a emplear y de si el eje es macizo o hueco.

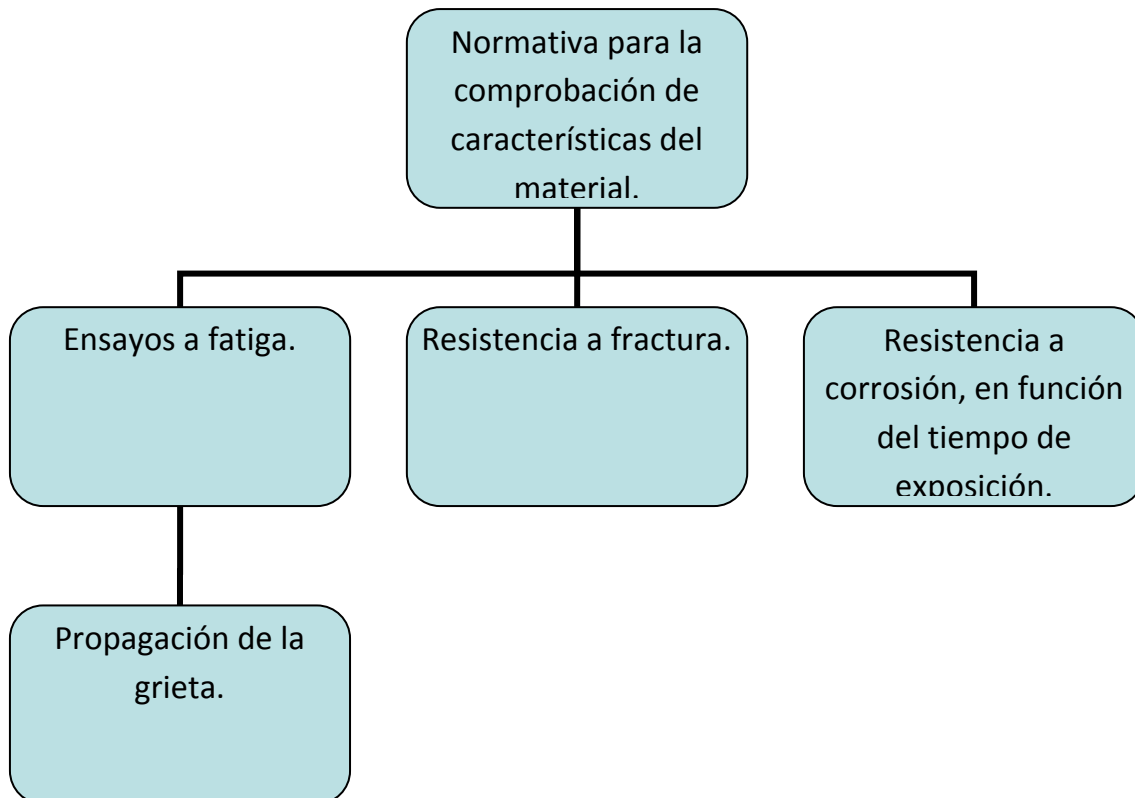


Figura 5. Organigrama de las características del material.

En esta segunda fase se procede a evaluar el material a utilizar a través de probetas normalizadas en las normativas EN 13260 y 13261. Se comienza comprobando el ensayo a fatiga explicado en la normativa EN 13261, utilizando el método de la escalera de la NF A 03-405. Tras esto se realiza el estudio definido en la NF A 03-404, comprobando que los resultados son satisfactorios. A continuación se realiza el estudio de resistencia a fractura definido en la normativa EN ISO 12737, y tras comprobar este apartado se finaliza con el ensayo de resistencia a corrosión perteneciente a la normativa ISO 9227, que consiste en hallar la ecuación de pérdida de masa frente a tiempo de exposición de pulverización salina. Una vez acabado este proceso se comparan los resultados obtenidos con la recomendación realizada en la normativa EN 13261 para dar por apto todo este proceso.

NOTA: No se nombra por ser algo obvio, pero el material a utilizar para la fabricación del eje debe cumplir las condiciones requeridas por el ensayo de dureza Vickers desarrollado en la normativa ISO 6507-1.

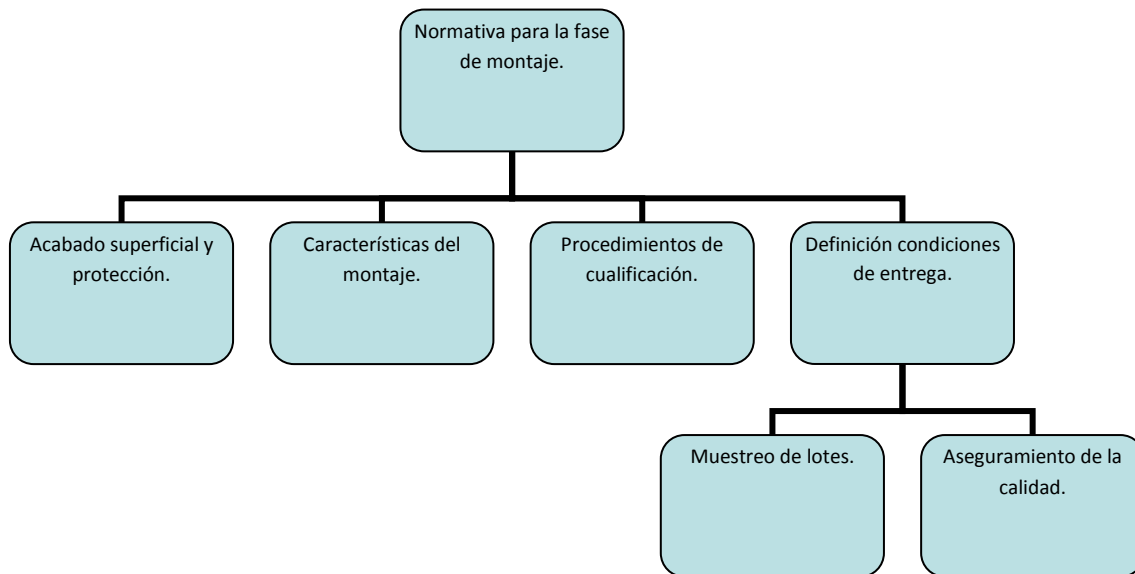


Figura 6. Organigrama de la fase de montaje.

En este último paso se siguen las normativas de la fase de montaje pertenecientes a las normativas EN 13260 y EN 13261, con el siguiente orden: primero se comprueba el acabado superficial y la protección a corrosión que necesita cumplir el eje fabricado, lo siguiente es verificar que se cumplen las características de montaje necesarias dictadas por estas normativas, después se realizan los procedimientos de cualificación comprobando que el elemento fabricado posee las mismas características y por tanto la misma resistencia que las probetas utilizadas en las fases anteriores, y por último se definen y se llevan a cabo las condiciones de entrega, que consiste en un muestreo de lotes comprobando que no existen errores de fabricación en los elementos obtenidos, y un aseguramiento de la calidad, de la forma nombrada en las normativas antes citadas.

Una vez cumplimentadas todas estas fases puede afirmarse que el eje ferroviario es apto para cumplir su cometido y puede comenzar a utilizarse sin riesgo alguno.

3.4. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN.

3.4.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO (BLOQUE NORMATIVO 13103 Y 13104).

Los ejes de ferrocarril fueron de los primeros componentes de trenes que dieron lugar a problemas de fatiga.

Hace muchos años, se desarrollaron métodos específicos para poder diseñar estos ejes, basados en una realimentación del análisis del comportamiento en servicio de los ejes combinado con el examen de fallos y en los ensayos de fatiga efectuados en el laboratorio, para así determinar las características y optimizar el diseño y los materiales que debían utilizarse en los ejes.

Un grupo de trabajo europeo bajo los auspicios de la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles “*Union Internationale des Chemins de Fer*”) empezó a armonizar estos métodos a principios de los años 70, lo que motivó la redacción de un documento ORE (Oficina de Investigación y Ensayos de la UIC “*Office de Recherches et d’Essais de l’UIC*”) , aplicable al diseño de los ejes del material remolcado, posteriormente incluidos en las normas nacionales (francesas, alemanas e italianas), y posteriormente convertidos en una ficha UIC.

La bibliografía recoge un listado de los documentos relevantes utilizados a efectos de referencia. El método descrito allí está basado en su mayor parte en cargas convencionales y aplica la teoría de la viga para el cálculo de esfuerzos. Las recomendaciones de forma y de esfuerzos se derivan de los ensayos de laboratorio y el resultado está validado por muchos años de funcionamiento en diferentes sistemas ferroviarios.

Estas normas están basadas en su mayor parte en este método, que ha sido mejorado y cuyo objeto y campo de aplicación han sido ampliados.

3.4.1.1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta norma:

- 1) Define las fuerzas y momentos a tener en cuenta en función de las masas y condiciones de tracción y frenado;
- 2) Proporciona el método de cálculo de esfuerzos para ejes con manguetas exteriores;
- 3) Especifica los esfuerzos máximos admisibles, que deben tomarse en consideración en los cálculos, para una calidad de acero EA1N, definido en la Norma EN 13261;
- 4) Describe el método para la determinación de los esfuerzos máximos admisibles para otras calidades de acero;
- 5) Determina los diámetros de las distintas secciones del eje y recomienda las formas y transiciones más adecuadas para proporcionar un buen comportamiento en servicio.

Esta norma es aplicable a:

- 6) Ejes macizos y huecos de material rodante ferroviario para trasladar viajeros y carga;
- 7) Ejes definidos en la Norma EN 13261;
- 8) Todos los anchos de vía (en función del ancho de vía para el que se estudie, alguna fórmula deberá ser adaptada a dichas condiciones).

Estas normas se aplican a ejes portadores destinados al material rodante para circular en condiciones europeas normales. Antes de hacer uso de estas normas, si existe alguna duda para establecer si las condiciones de explotación del ferrocarril son normales, es necesario determinar si se tiene que aplicar un coeficiente de seguridad de diseño adicional a los esfuerzos máximos permitidos. El cálculo de los ejes montados para aplicaciones especiales (por ejemplo para máquinas bateadoras, máquinas alineadoras y máquinas niveladoras), pueden realizarse según esta norma para los casos de carga de vehículo aislado y de vehículo incorporado a un tren. Estas normas no se aplican para casos de carga en trabajo. Éstos se calculan separadamente.

Para vehículos ligeros y tranvías, pueden aplicarse otras normas o documentos acordados entre cliente y proveedor.

Los ejes portadores de bogies motores y de locomotoras se analizan de acuerdo con los requisitos de la Norma EN 13104.



Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

EN 13260:2009 *Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes montados. Requisitos de producto.*

EN 13261:2009 *Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes. Requisitos de producto.*

3.4.1.2. FUERZAS Y MOMENTOS A APLICAR.

Se van a tratar tres tipos de fuerzas en función de:

- 1) Las masas en movimiento;
- 2) El sistema de tracción;
- 3) El sistema de frenado.

3.4.1.3. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS PARA LAS DIVERSAS PARTES DEL EJE.

Como parte inicial del diseño se seleccionan unos diámetros para las manguetas y el cuerpo del eje. La elección de estos diámetros debe efectuarse inicialmente entre los tamaños existentes de los componentes asociados al eje (como, por ejemplo, los rodamientos).

A continuación se obtiene el diámetro del obturador. Tras él se calcula la transición entre la zona de calado del obturador y la zona de calado de la rueda, y posteriormente la zona de calado de la rueda sin calado adyacente.

Se procede de manera diferente si existen dos zonas de calado adyacentes. Se considera que dos zonas de calado son adyacentes si la transición entre una zona y la otra se produce por un único radio o un radio compuesto y los componentes calados están en contacto.

Deben tomarse en cuenta la rueda, el engranaje, el disco o el rodamiento, y no el obturador, el deflector o el soporte.

El diámetro de las dos zonas de calado se calcula a partir del diámetro del cuerpo, de conformidad con el apartado anterior.

Se prevé una acanaladura pequeña (profundidad mínima ligeramente superior al rango de desgaste de las zonas de calado y de radio mínimo 16 mm) para separar las dos zonas de calado. Su papel fundamental consiste en evitar las muescas que podrían producirse por los extremos mandrinados de los componentes calados.

Debe considerarse que dos zonas de calado son no adyacentes cuando la transición entre las dos zonas está constituida de dos radios de transición y las piezas caladas no están en contacto.



3.4.1.4. ESFUERZOS MÁXIMOS PERMITIDOS.

Los esfuerzos máximos permitidos se determinan a partir de:

- El límite de fatiga en flexión rotativa de las diferentes partes del eje;
- El valor de un coeficiente de seguridad llamado " S ", que depende de la calidad del acero.

Se actuará de manera diferente si el acero a utilizar es un acero EA1N o es otro tipo de acero, puesto que el límite de resistencia variará de uno a otro.

3.4.2. METODOLOGÍA DE MONTAJE (BLOQUE NORMATIVO 13260-13261).

3.4.2.1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO.

Antes del montaje, todos los elementos que componen el eje montado deben satisfacer los requisitos geométricos de los documentos que los definen. En concreto, las ruedas y el eje deben estar en el estado “listo para el montaje” definido en la Norma EN 13262 para las ruedas y en la Norma EN 13261 para los ejes.

Los elementos que componen el eje montado pueden estar calados por calentamiento de la rueda o a presión.

3.4.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL EJE MONTADO.

- Resistencia mecánica.

Para poder transmitir fuerzas y pares entre los elementos calados, los montajes deben poder soportar una fuerza axial F durante 30s sin presentar desplazamiento alguno entre uno y otro elemento.

- Resistencia a fatiga.

Este apartado define los valores límites de fatiga en flexión rotativa para 10^7 ciclos. Estos valores se utilizan para calcular las tensiones máximas admisibles en las zonas de calado del eje, según lo exigen las Normas EN 13103 y EN 13104.

Estas características de fatiga no son las mismas para un eje macizo que para un eje hueco. Éste es el resultado del efecto de perforación del eje en la distribución de las tensiones.

Para un eje macizo, sólo debe determinarse un límite de fatiga (F) en las superficies de calado.

Para un eje hueco, dado que el efecto del calado es mayor sobre las manguetas que sobre las demás superficies de calado por el diferente espesor del metal, deben determinarse dos límites de fatiga:

- Debajo de las partes caladas, excepto para manguetas, el límite es F_4 ;
- Debajo de las partes caladas sobre la mangueta, el límite es F_5 .

La zona de la probeta donde se inicia la fisura debe tener una forma geométrica, un entorno y unas condiciones de superficie idénticas a las del eje considerado.

- Desequilibrio.

Para un eje montado no motor capaz de circular a una velocidad superior a 120 km/h, debe especificarse un desequilibrio dinámico máximo.

- Medidas y tolerancias.

Las medidas del eje montado deben corresponderse con los planos de diseño. Las tolerancias dimensionales y geométricas aplicables cuando se ensamblen las diferentes partes del eje montado se especifican en los apartados siguientes.

Dependen de la categoría del eje montado.

Los valores se dan para una medición sin carga sobre el eje montado.

- Tensiones residuales.

Las distintas operaciones de fabricación de un eje que conducen al estado de “listo para el montaje” no deben crear tensiones residuales que faciliten la aparición de fisuras de fatiga.

La probeta es el eje en estado “listo para el montaje”. Los puntos de medición están situados en el centro y en un extremo de las zonas de calado. En cada circunferencia se miden dos puntos a 120°.

Las mediciones pueden hacerse o bien con los extensómetros convencionales o bien por difracción de rayos X.

- Marcado.

Los componentes de los ejes montados deben marcarse de conformidad con las normas correspondientes.

3.4.2.3. CARACTERÍSTICAS DE FATIGA.

La verificación de las características de fatiga es esencial para un correcto dimensionamiento del eje. El funcionamiento satisfactorio de un eje en servicio depende de estas características.

Para determinar F_1 y F_2 , las zonas de inicio de la fisuración de las probetas deben presentar una geometría y un estado superficial similares a los de las zonas del eje que se han de analizar.

Los ensayos deben realizarse con máquinas que produzcan tensiones por flexión rotativa en el área de fisuración por fatiga.

- Permeabilidad a ultrasonidos.

La permeabilidad debe garantizar que se puedan realizar los ensayos por ultrasonidos en servicio, y se comprueba por estimación de la respuesta obtenida sobre el eje después de una calibración preliminar del aparato de ensayo.

- Tensiones residuales.

Las diferentes fases de fabricación no deben crear tensiones residuales en los ejes que puedan causar deformaciones en servicio o facilitar el inicio de la fisuración por fatiga.

3.4.2.4. RESISTENCIA AL CHOQUE Y PROYECCIONES.

Esta característica define la capacidad del revestimiento de proteger el eje de daños derivados del choque de proyectiles, por ejemplo, balasto e impactos repetidos de arena o gravilla. Esta característica aplica sólo a la clase 1.

3.4.2.5. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN.

Todos los ejes en servicio deben estar protegidos contra la corrosión en las zonas donde no haya componentes calados. Algunos ejes pueden necesitar protección contra agresiones mecánicas (choques, proyecciones de gravilla, etc.).

Se definen cuatro clases de protecciones, según el empleo del eje y de la política de mantenimiento del mismo:

- Clase 1: ejes expuestos a corrosión atmosférica y a choques mecánicos;
- Clase 2: ejes expuestos a la acción de determinados productos corrosivos;
- Clase 3: ejes expuestos a corrosión atmosférica;
- Clase 4: ejes expuestos a corrosión atmosférica cuando las tensiones calculadas según las Normas EN 13103 y EN 13104 sean inferiores al 60% de las tensiones límite;
- Se permiten clases diferentes en el mismo eje.
- Adherencia del revestimiento.

La adherencia es una característica que engloba todas las fuerzas de cohesión entre el revestimiento y la superficie del eje.

- Resistencia a la niebla salina.

Esta característica define la capacidad de la superficie del eje, cuando está protegida por su revestimiento, de resistir a una corrosión acelerada por niebla salina.

- Resistencia a determinados productos corrosivos.

Esta característica, que sólo atañe a los revestimientos de clase 2, evalúa su resistencia a determinados productos corrosivos que podrían afectarlos (ambientes corrosivos, productos transportados, etc.).

3.4.2.6. RESISTENCIA DEL REVESTIMIENTO.

- Resistencia del revestimiento a tensiones mecánicas cíclicas.

Esta característica, que sólo atañe a los revestimientos de clase 2, evalúa su resistencia a determinados productos corrosivos que podrían afectarlos (ambientes corrosivos, productos transportados, etc.).

- Protección temporal.

Antes del montaje, aquellas partes del eje que se hayan preparado para montar los demás componentes deben recibir una protección temporal contra la corrosión y el choque, conforme a las condiciones de entrega.



4. RESULTADOS

4.1. BLOQUE DE FASE DE DISEÑO (BLOQUE NORMATIVO 13103-13104).

4.1.1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Las fases principales para el diseño de un eje son las siguientes:

- a) Definición de las fuerzas que tienen que tenerse en cuenta y cálculo de los momentos en las diferentes secciones del eje;
- b) Selección de los diámetros para el cuerpo del eje y las manguetas y, sobre la base de estos diámetros, cálculo de los diámetros de otras secciones;
- c) Verificación de las opciones tomadas de la siguiente manera:
 - Cálculo del esfuerzo para cada sección;
 - Comparación de estos esfuerzos con los esfuerzos máximos permitidos.

Los esfuerzos máximos permitidos se definen principalmente por:

- La calidad del acero;
- Si el eje es macizo o hueco.

El anexo A de la normativa 13103 presenta un ejemplo de hoja de cálculo.

Tabla 1

Símbolo	Unidad	Descripción
m_1	kg	Masa en las manguetas por eje (las masas de los rodamientos y de las cajas de grasa están incluidas)
m_2	kg	Masa del eje y masas sobre el eje entre los planos de rodadura (disco de freno, etc.)
$m_1 + m_2$	kg	Para el eje considerado, es la masa aplicada sobre los carriles
g	m/s^2	Aceleración debida a la gravedad
P	N	La mitad de la fuerza vertical por cada eje sobre el carril $\frac{(m_1 + m_2)g}{2}$
P_0	N	Fuerza vertical estática por cada mangueta, cuando el eje está cargado simétricamente $\frac{m_1 g}{2}$
P_1	N	Fuerza vertical sobre la mangueta más cargada
P_2	N	Fuerza vertical sobre la mangueta menos cargada
P'	N	Parte de P frenado por cualquier sistema mecánico de freno
Y_1	N	Fuerza horizontal de la rueda sobre el carril, perpendicular al carril, en el lado de la mangueta más cargada
Y_2	N	Fuerza horizontal de la rueda sobre el carril, perpendicular al carril, en el lado de la mangueta menos cargada
H	N	Fuerza que equilibra las fuerzas Y_1 e Y_2
Q_1	N	Reacción vertical sobre la rueda situada del lado de la mangueta más cargada
Q_2	N	Reacción vertical sobre la rueda situada del lado de la mangueta menos cargada
F_i	N	Fuerzas ejercidas por las masas de los elementos no suspendidos, situadas entre las dos ruedas [disco(s) de freno, piñón, etc.]

Tabla 1. Nomenclatura usada en las normativas.

Símbolo	Unidad	Descripción
F_f	N	Fuerza máxima aplicada a las zapatas de un mismo portazapatas sobre una rueda o fuerza de la superficie de contacto de las pastillas sobre un disco
M_a	Nmm	Momento de flexión producido por las masas en movimiento
M'_{a1}, M'_{a2}	Nmm	Momentos de flexión producidos por el frenado
M'_t	Nmm	Momento de torsión producido por el frenado
MX, MZ	Nmm	Suma de los momentos de flexión
MY	Nmm	Suma de los momentos de torsión
MR	Nmm	Momento resultante
$2b$	mm	Distancia entre los puntos de aplicación de las fuerzas verticales sobre las manguetas del eje
$2r$	mm	Distancia entre los círculos de rodadura de la rueda
h_1	mm	Altura por encima de la línea central del eje del centro de gravedad de las masas soportadas por el eje
y_1	mm	Distancia entre el círculo de rodadura de una rueda y la fuerza F_1
y	mm	Abscisa para cualquier sección del eje medida desde la sección sometida a la fuerza P_1
f		Coefficiente de fricción medio entre la rueda y la zapata de freno o entre las pastillas de freno y el disco
σ	N/mm ²	Esfuerzo calculado en una sección
K		Coefficiente de concentración del esfuerzo de fatiga
R	mm	Radio nominal del círculo de rodadura de una rueda
R_a	mm	Radio de frenado
d	mm	Diámetro para una sección del eje
d'	mm	Diámetro interior de un eje hueco
D	mm	Diámetro utilizado para determinar K
r	mm	Radio de la curva de transición utilizado para determinar K
S		Coefficiente de seguridad
G		Centro de gravedad
R_{σ}	N/mm ²	Límite de fatiga en flexión rotativa hasta 10^7 ciclos para probetas lisas
$R_{\sigma c}$	N/mm ²	Límite de fatiga en flexión rotativa hasta 10^7 ciclos para probetas con entalla
a_y	m/s ²	Desequilibrio de la aceleración transversal
f_t		Factor de propulsión

Tabla 1. Nomenclatura usada en las normativas.

4.1.2. FUERZAS Y MOMENTOS A APLICAR

Las fuerzas producidas por las masas en movimiento están situadas en el plano vertical de simetría (y, z) que corta la línea central del eje (véase la figura 7).

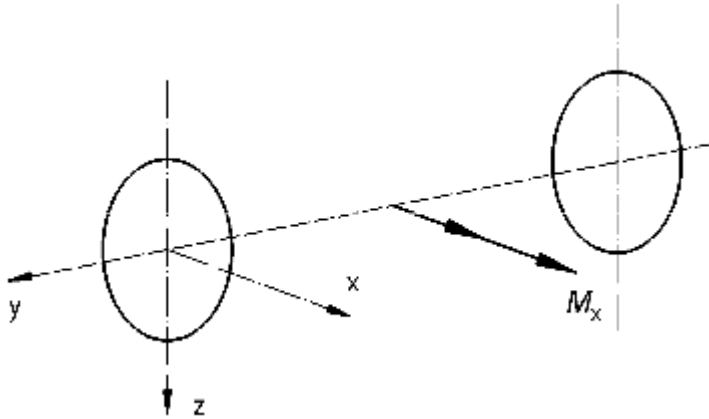


Figura 7. Fuerzas debidas a las masas en movimiento.

A menos que el cliente defina lo contrario, las masas ($m_1 + m_2$) que tienen que tenerse en cuenta para las aplicaciones principales del material rodante se definen en la tabla 2. Para aplicaciones específicas como, por ejemplo, los vehículos de cercanías, se necesitan otras definiciones para las masas, de acuerdo con los requisitos específicos de explotación.

Tabla 2

Tipos de unidades de material rodante	Masa ($m_1 + m_2$)
Vagones de carga	Para el eje considerado, fracción de la masa del vagón en el caso de carga máxima prevista en servicio.
Coche que incluye plazas para viajeros, zonas de equipaje y furgones 1 Vehículos de grandes líneas ^a	Masa en servicio + $1,2 \times$ carga neta, la "masa en servicio" se define como la masa del vehículo sin viajeros, con los depósitos llenos (de agua, arena, combustible, etc.); la "carga neta" se define como la masa de un viajero, la cual se estima en 80 kg, incluyendo equipaje de mano; <ul style="list-style-type: none"> – 1 viajero por asiento; – 2 viajeros por m^2 en pasillos y plataformas de intercomunicación; – 2 viajeros por compartimento para personal de asistencia en viaje; – 300 kg por m^2 en compartimentos de equipaje.
2 Vehículos de cercanías ^{a b}	Masa en servicio + $1,2 \times$ carga neta, la "masa en servicio" se define como la masa del vehículo sin viajeros, con los depósitos llenos (de agua, arena, combustible, etc.); la "carga neta" se define como la masa de un viajero, la cual se estima en 70 kg (con poco o nada de equipaje); <ul style="list-style-type: none"> – 1 viajero por asiento; – 3 viajeros por m^2 en zonas de pasillos; – 4 ó 5 viajeros por m^2 en zonas de plataformas de intercomunicación ^b; – 300 kg por m^2 en compartimentos de equipaje.

^a Las cargas netas que tienen que tenerse en cuenta para determinar los vehículos de grandes líneas y vehículos de cercanías reflejan ampliamente las condiciones normales de explotación de la red ferroviaria de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC). Si las condiciones de funcionamiento difieren significativamente, las masas pueden modificarse, por ejemplo, aumentando o disminuyendo el número de viajeros por m^2 en pasillos y plataformas de intercomunicación.

^b En algunas ocasiones, estos vehículos están relacionados con las clases de compartimentos del viajero, es decir, primera o segunda clase.

Tabla 2. Definición de masas.

El momento de flexión M_x en cualquier sección se calcula a partir de las fuerzas P_1 , P_2 , Q_1 , Q_2 , Y_1 , Y_2 y F_i como muestra la figura 8. Representa el caso más desfavorable para el eje, es decir:

- 1) La distribución asimétrica de las fuerzas;
- 2) La dirección de las fuerzas F_i causadas por las masas de los componentes no suspendidos seleccionados de tal manera que sus efectos de flexión se suman a los efectos producidos por las fuerzas verticales;
- 3) El valor de las fuerzas F_i proviene de multiplicar la masa de cada componente no suspendido por 1 g.

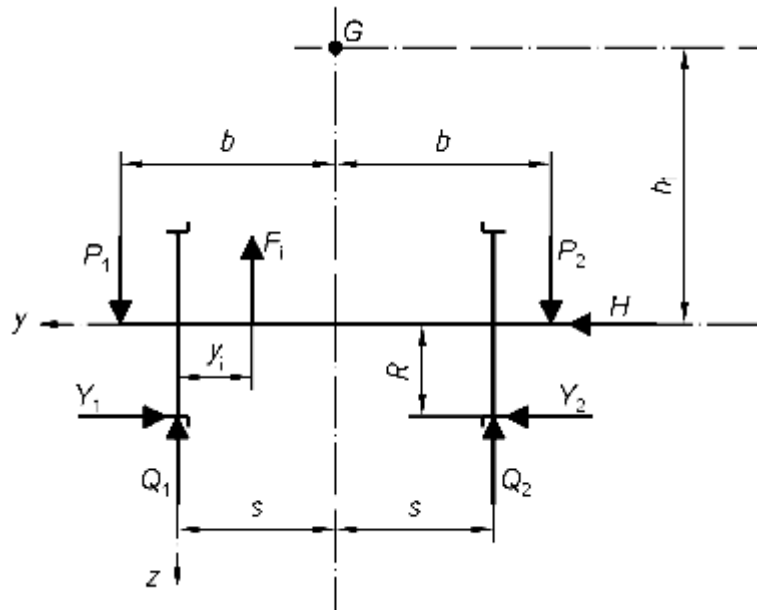


Figura 8. Fuerzas y momentos.

La tabla 3 muestra los valores de las fuerzas calculadas a partir de m_1 .

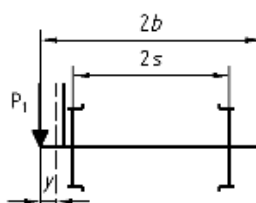
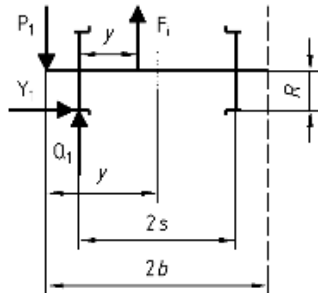

Los valores de los coeficientes de las fórmulas se aplican a ejes de ancho de vía normal con suspensión clásica. Para anchos de vía muy distintos, por ejemplo el ancho de vía métrico, o un sistema nuevo de suspensión, por ejemplo la suspensión pendular, deben tomarse en consideración otros valores (véanse los anexos B y C de la normativa 13103).

Tabla 3. Valor de las fuerzas

Todos los ejes excepto el eje guía ^a	$P_1 = (0,625 + 0,075h_1 / b)m_1g$ $P_2 = (0,625 - 0,075h_1 / b)m_1g$ $Y_1 = 0,30m_1g$ $Y_2 = 0,15m_1g$ $H = Y_1 - Y_2 = 0,15m_1g$
Eje guía ^a	$P_1 = (0,625 + 0,0875h_1 / b)m_1g$ $P_2 = (0,625 - 0,0875h_1 / b)m_1g$ $Y_1 = 0,35m_1g$ $Y_2 = 0,175m_1g$ $H = Y_1 - Y_2 = 0,175m_1g$
Para todos los ejes	$Q_1 = \frac{1}{2s} [P_1(b+s) - P_2(b-s) + (Y_1 - Y_2)R - \sum_i F_i(2s - y_i)]$
	$Q_2 = \frac{1}{2s} [P_2(b+s) - P_1(b-s) - (Y_1 - Y_2)R - \sum_i F_i y_i]$
^a El eje guía es el eje del primer bogie (es decir, el conductor) de un coche utilizado en cabeza de una unidad de tren reversible. Si un eje puede utilizarse en ambas posiciones (guía o no guía), se considera que es un eje guía.	
	<ul style="list-style-type: none"> - 4 o 5 viajeros por m² en zonas de plataformas de intercomunicación ^b; - 300 kg por m² en compartimentos de equipaje.
^a Las cargas netas que tienen que tenerse en cuenta para determinar los vehículos de grandes líneas y vehículos de cercanías reflejan ampliamente las condiciones normales de explotación de la red ferroviaria de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UITC). Si las condiciones de funcionamiento difieren significativamente, las masas pueden modificarse, por ejemplo, aumentando o disminuyendo el número de viajeros por m ² en pasillos y plataformas de intercomunicación.	
^b En algunas ocasiones, estos vehículos están relacionados con las clases de compartimentos del viajero, es decir, primera o segunda clase.	

La tabla 4 muestra las fórmulas para calcular M_x para cada zona del eje y el esquema general de las variaciones de M_x a lo largo del eje.

Tabla 4. Fórmulas aplicadas para el cálculo de momentos.

Zona del eje	M_x^a
Entre el plano de carga y el plano de rodadura	$M_x = P_1 y$ 
Entre los planos de rodadura	$M_x = P_1 y - Q_1(y - b + s) + Y_1 R - \sum_i F_i(y - b + s - y_i)$  <p>F_i: fuerza(s) situada(s) a la izquierda de la sección considerada</p>
Esquema general de las variaciones de M_x	
^a En caso de un eje asimétrico, los cálculos deben llevarse a cabo alternativamente después de aplicar la carga a las dos manguetas con el fin de determinar el peor de los casos.	

Las fuerzas producidas en el eje por la transmisión del par motriz, en condiciones de adherencia constantes, normalmente se pueden despreciar. El cálculo y la experiencia demuestran que los momentos de flexión M_x y M_z y el momento de torsión M y producido por estas fuerzas de tracción son menores que los producidos por el frenado. Los momentos de tracción y de frenado no se producen simultáneamente.

En el diseño del eje también se debería tener en cuenta la pérdida instantánea de tracción, por ejemplo, cortocircuito por sobrecarga. Cuando los sistemas de control de tracción adoptan la técnica de mantener el esfuerzo de tracción al límite de adherencia, cualquier oscilación resultante controlada alrededor del par motor medio debe tenerse en cuenta para determinar la magnitud del momento de torsión M_y .

Para algunas aplicaciones, cuando el par de arranque es muy elevado, y cuando los arranques se producen con mucha frecuencia, el cálculo se debe llevar a cabo de la siguiente manera:

- a) En las condiciones normales descritas anteriormente;
- b) En las condiciones iniciales siguientes:
 - 1) Efectos debidos a masas en movimiento como se define en la tabla 5;
 - 2) Efectos debidos al par arranque.

Se tienen que utilizar las condiciones más severas para definir el eje.

El frenado produce momentos que pueden representarse por tres componentes: M'_x , M'_y , M'_z (véase la figura 9).

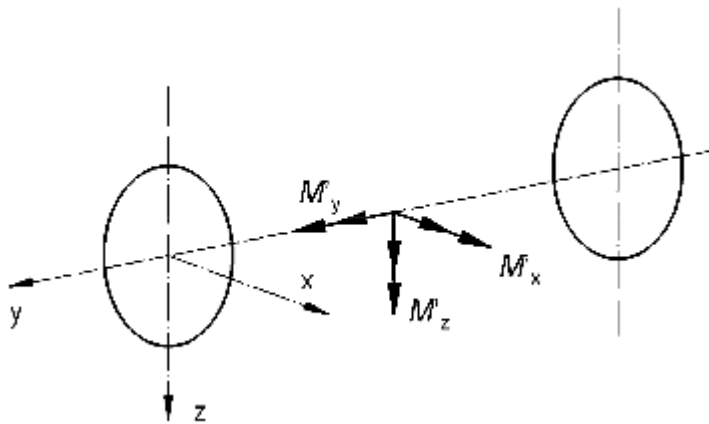


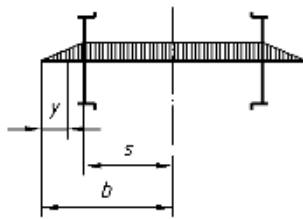
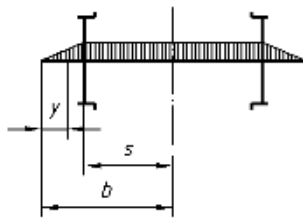
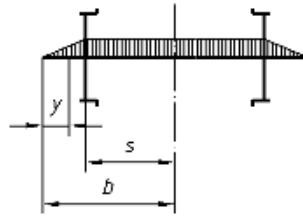
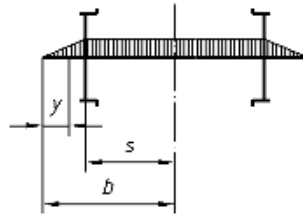
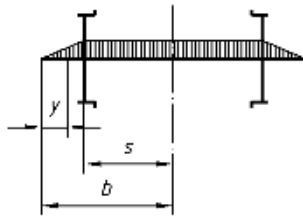
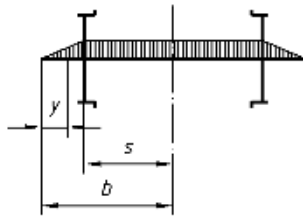
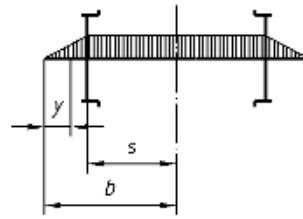
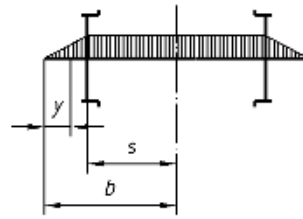
Figura 9. Efectos debidos al frenado.

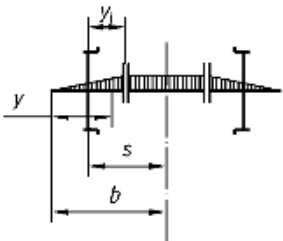
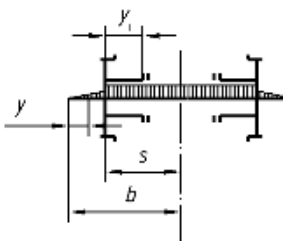
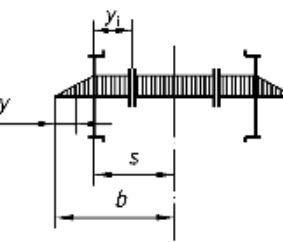
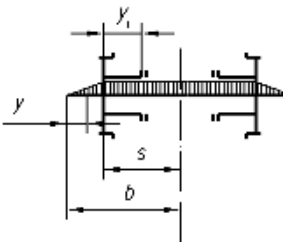
- 1) La componente de flexión M'_x se debe a las fuerzas verticales paralelas al eje z ;
- 2) La componente de flexión M'_z se debe a las fuerzas horizontales paralelas al eje x ;
- 3) La componente de torsión M'_y se dirige conforme a la línea central del eje (eje y) debido a las fuerzas tangenciales aplicadas a las ruedas.

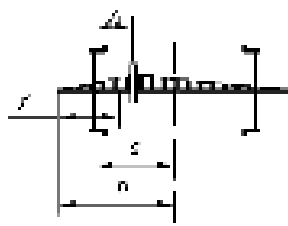

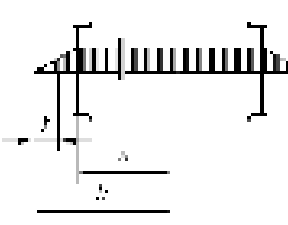
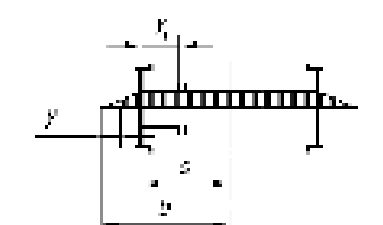
La tabla 5 muestra las componentes M'_x , M'_y y M'_z para cada modalidad de frenado.

En caso de superposición de varias modalidades de frenado, se suman los valores correspondientes de cada modalidad.

Tabla 5. Componentes del Momento flector.

Componentes M'_x, M'_z, M'_y	Modalidad de frenado utilizada			
	Zapatas de freno en los dos lados de cada rueda		Zapatas de freno sólo en un lado de cada rueda	
	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura
M'_x	$M'_x = 0,3 F_f I \bar{y}$ a, b 	$M'_x = 0,3 F_f I (b - s)$ a, b 	$M'_x = F_f I \bar{y}$ b 	$M'_x = F_f I (b - s)$ b 
M'_z	$M'_z = F_f (0,3 + I) \bar{y}$ a 	$M'_z = F_f (0,3 + I) (b - s)$ a 	$M'_z = F_f (1 + I) \bar{y}$ 	$M'_z = F_f (1 + I) (b - s)$ 
M'_y	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ c, d	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ c, d

Componentes M'_x, M'_z, M'_y	Modalidad de frenado utilizada				
	Dos frenos de disco calados sobre el eje			Dos frenos de disco montados sobre el cubo de la rueda ^f	
	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre el plano de rodadura y el disco	Entre los discos	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura
M'_x	$M'_x = F_f f y$ $M'_x = F_f f (b - s + y_i)$ 			$M'_x = F_f f y$ $M'_x = F_f f (b - s + y_i)$ 	
M'_z	$M'_z = F_f f \frac{R_b}{R} y$ $M'_z = F_f f \frac{R_b}{R} (b - s)$ 			$M'_z = F_f f \frac{R_b}{R} y$ $M'_z = F_f f (b - s) \frac{R_b}{R}$ 	
M'_y	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e

Componentes: M'_x, M'_y, M'_z	Modalidad de frenado utilizada			
	Un freno de disco calado sobre el eje		Un freno de disco montado sobre el cubo de la rueda ¹	
	Entre el primer plano de carga y el disco	Entre el disco y el segundo plano de carga	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura
M'_x	$M'_x = F_f f' \frac{(b+x-x_1)}{2b} y$ $M'_x = F_f f' \frac{(b-x+x_1)}{2b} (2b-y)$ 		$M'_x = \frac{1}{2b} F_f f' y (b+x-y) \quad M'_x = F_f f' \frac{(b-x-x_1)}{2b} (2b-y)$ 	
M'_z	 $M'_z = \frac{1}{2} F_f f' \frac{R_b}{R} y \quad M'_z = \frac{1}{2} F_f f' \frac{R_b}{R} (b-x)$		 $M'_z = \frac{1}{2} F_f f' \frac{R_b}{R} y \quad M'_z = \frac{1}{2} F_f f' (b-x) \frac{R_b}{R}$	
M'_y	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre planos de rodadura		
	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 F' R$	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 F' R$

NOTA: Si se utilizan otras modalidades de frenado, las fuerzas y momentos que tienen que tenerse en cuenta se obtienen sobre la base de los mismos principios que para los casos indicados en la tabla 5. Se debería prestar una atención especial al cálculo de la componente M'_x que hay que sumar directamente a la componente M_x que representa las masas en movimiento.

Para un eje no frenado, el momento de torsión M'_y es igual a $0,2 PR$, teniendo en cuenta posibles diferencias de diámetro de las ruedas y el efecto de circulación en curva.

Para un eje frenado, estas influencias están incluidas en las influencias producidas por el frenado.

En todas las secciones, los esfuerzos máximos se calculan a partir del momento resultante MR (véase la nota siguiente), que es igual a:

$$MR = \sqrt{MX^2 + MY^2 + MZ^2}$$

Donde MX , MY y MZ son la suma de las diferentes componentes producidas por las masas en movimiento y el frenado:

$$MX = M_x + \sum M'_x$$

$$MY = \sum M'_y$$

$$MZ = \sum M'_z$$

NOTA: En un punto de la superficie exterior de un cilindro macizo de diámetro d (demostración análoga en el caso de uno hueco), las componentes MX , MY y MZ producen:

Un esfuerzo normal para MX y MZ ;

Un esfuerzo tangencial para MY .

El esfuerzo normal tiene el siguiente valor (flexión de las vigas de sección circular):

$$\sigma_n = \frac{32\sqrt{MX^2 + MZ^2}}{\pi d^3}$$

El esfuerzo tangencial tiene el siguiente valor (torsión de las vigas de sección circular):

$$\sigma_t = \frac{16MY}{\pi d^3}$$

Y de ello resultan dos esfuerzos principales iguales a:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_n + \sqrt{\sigma_n^2 + 4\sigma_t^2}}{2} \quad \sigma_2 = \frac{\sigma_n - \sqrt{\sigma_n^2 + 4\sigma_t^2}}{2}$$

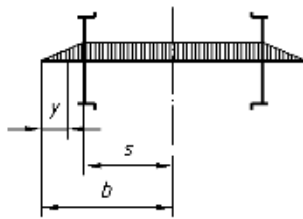
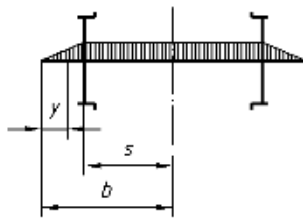
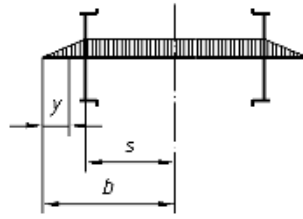
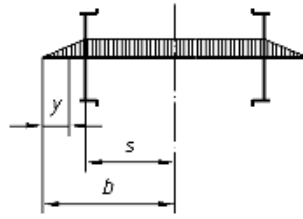
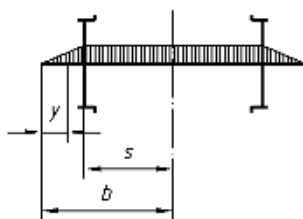
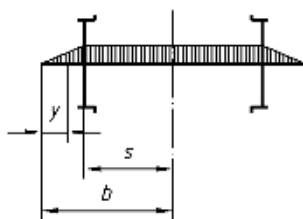
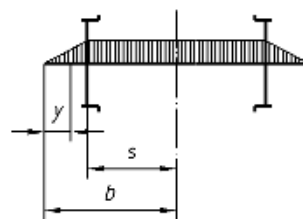
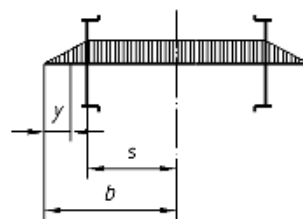
Puesto que el esfuerzo normal tiene un valor absoluto mucho mayor que el esfuerzo tangencial (de 10 a 20 veces), se selecciona el diámetro más grande del círculo de Mohr para verificar el valor elegido para d .

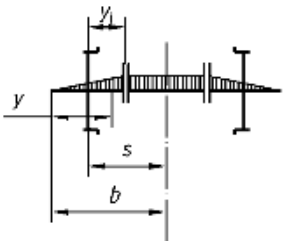
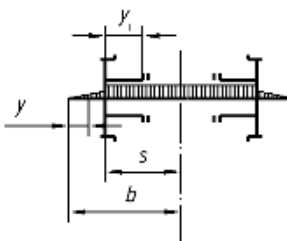
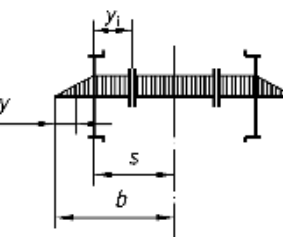
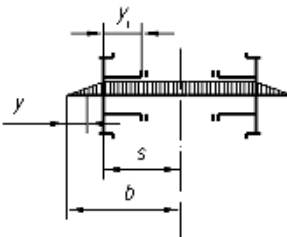
$$\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 = \sqrt{\sigma_n^2 + 4\sigma_t^2} = \frac{32}{\pi d^3} \sqrt{MX^2 + MZ^2 + MY^2}$$

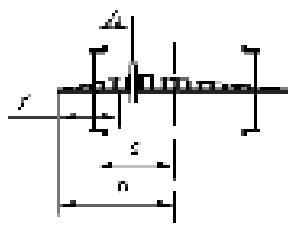

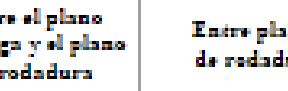

Y de ello resulta la definición del momento resultante:

$$MR = \sqrt{MX^2 + MY^2 + MZ^2}$$

Tabla 5. Componentes del Momento flector.

Componentes M'_x, M'_z, M'_y	Modalidad de frenado utilizada			
	Zapatas de freno en los dos lados de cada rueda		Zapatas de freno sólo en un lado de cada rueda	
	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura
M'_x	$M'_x = 0,3 F_f I \bar{y}$ a, b 	$M'_x = 0,3 F_f I (b - s)$ a, b 	$M'_x = F_f I \bar{y}$ b 	$M'_x = F_f I (b - s)$ b 
M'_z	$M'_z = F_f (0,3 + I) \bar{y}$ a 	$M'_z = F_f (0,3 + I) (b - s)$ a 	$M'_z = F_f (1 + I) \bar{y}$ b 	$M'_z = F_f (1 + I) (b - s)$ b 
M'_y	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ c, d	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ c, d

Componentes M'_x, M'_z, M'_y	Modalidad de frenado utilizada				
	Dos frenos de disco calados sobre el eje			Dos frenos de disco montados sobre el cubo de la rueda ^f	
	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre el plano de rodadura y el disco	Entre los discos	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura
M'_x	$M'_x = F_f f y$ $M'_x = F_f f (b - s + y_i)$ 			$M'_x = F_f f y$ $M'_x = F_f f (b - s + y_i)$ 	
M'_z	$M'_z = F_f f \frac{R_b}{R} y$ $M'_z = F_f f \frac{R_b}{R} (b - s)$ 			$M'_z = F_f f \frac{R_b}{R} y$ $M'_z = F_f f (b - s) \frac{R_b}{R}$ 	
M'_y	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e

Componentes: M'_x, M'_y, M'_z	Modalidad de frenado utilizada			
	Un freno de disco calado sobre el eje		Un freno de disco montado sobre el cubo de la rueda ¹	
	Entre el primer plano de carga y el disco	Entre el disco y el segundo plano de carga	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura
M'_x	$M'_x = F_f f' \frac{(b+x-x_1)}{2b} y$ $M'_x = F_f f' \frac{(b-x+x_1)}{2b} (2b-y)$ 		$M'_x = \frac{1}{2b} F_f f' y (b+x-x_1) \quad M'_x = F_f f' \frac{(b-x+x_1)}{2b} (2b-y)$ 	
M'_z	 $M'_z = \frac{1}{2} F_f f' \frac{R_b}{R} y \quad M'_z = \frac{1}{2} F_f f' \frac{R_b}{R} (b-x)$		 $M'_z = \frac{1}{2} F_f f' \frac{R_b}{R} y \quad M'_z = \frac{1}{2} F_f f' (b-x) \frac{R_b}{R}$	
M'_y	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre planos de rodadura		
	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 F' R$	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 F' R$

a) El coeficiente 0,3 se obtiene de experimentos que establecieron las posibles diferencias entre las fuerzas aplicadas de dos zapatas de freno sobre cada rueda.

b) Mientras no se justifique lo contrario:

- Para zapatas de freno:

$f' = 0,1$ para zapatas de freno de hierro fundido;

$f' = 0,17$ para todas las zapatas de freno con bajo coeficiente de fricción, excluyendo las de hierro fundido;

$I' = 0,25$ para todas las zapatas de freno con alto coeficiente de fricción, excluyendo las de hierro fundido.

- Para pastillas de freno:

$I' = 0,35$.

- a) Este valor se obtuvo a partir de ensayos experimentales y corresponde a una fuerza de frenado distinta entre las dos ruedas que causa una diferencia de fuerza tangencial en las ruedas igual a $0,3 P'$. Incluye el momento de torsión definido en el apartado 5.3 de la normativa.
- b) P' es la parte de P frenada con la modalidad de frenado considerada.
- c) Por convenio, el momento de torsión entre los planos de rodadura se considera igual a $0,3 P'R$. Incluye el momento de torsión debido al frenado y el momento de torsión especificado en el apartado 5.4 de la normativa.
- d) Cuando el disco está montado sobre el plato de la rueda, entonces $i = 0$.

4.1.3. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS PARA LAS DIVERSAS PARTES DEL EJE.

Dada cualquier sección del eje tomando d como diámetro, el esfuerzo que tienen que tomarse en consideración es el siguiente:

- Para un eje macizo (véase la figura 10a):

$$\sigma = \frac{K \times 32 \times MR}{\pi d^3}$$

- Para un eje hueco (véase la figura 10b):

- En la superficie exterior:

$$\sigma = \frac{K \times 32 \times MR \times d}{\pi(d^4 - d'^4)}$$

- En el hueco:

$$\sigma = \frac{K \times 32 \times MR \times d'}{\pi(d^4 - d'^4)}$$

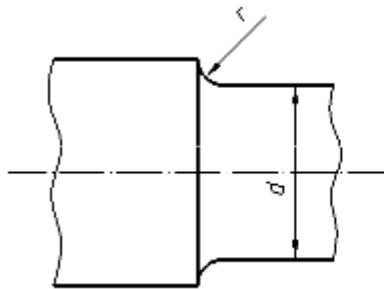


Figura 10a

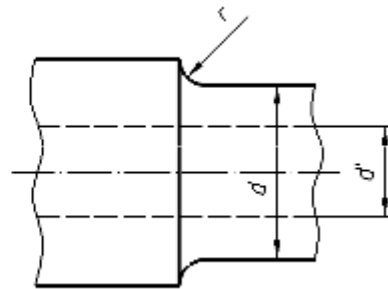


Figura 10b

En una parte cilíndrica situada sobre la superficie de un eje macizo o hueco y en el agujero de un eje hueco, el coeficiente de concentración de esfuerzos de fatiga K es igual a 1. Sin embargo, todo cambio de sección produce un aumento de esfuerzo, cuyo valor máximo puede encontrarse en:

- La transición inferior, entre dos partes cilíndricas contiguas de diámetros diferentes;
- La parte más profunda (fondo) de la acanaladura.

NOTA: Cuando la transición tiene diferentes radios, se recomienda que la sección crítica no se encuentre en la intersección de dos radios. Si se produce esta situación, es necesario calcular el nivel de esfuerzo en todas las intersecciones del radio de transición.

El factor de concentración del esfuerzo de fatiga K para calcular este incremento se muestra en los gráficos de la figura 11 (transición entre dos partes cilíndricas) y de la figura 12 (fondo de la acanaladura). Se obtiene a partir de dos relaciones:

$$\frac{r}{d} \text{ y } \frac{D}{d}$$

Donde:

r radio de la curva de transición;

d diámetro de la parte cilíndrica en la que se calcula la concentración de esfuerzos;

D diámetro de la otra parte cilíndrica.

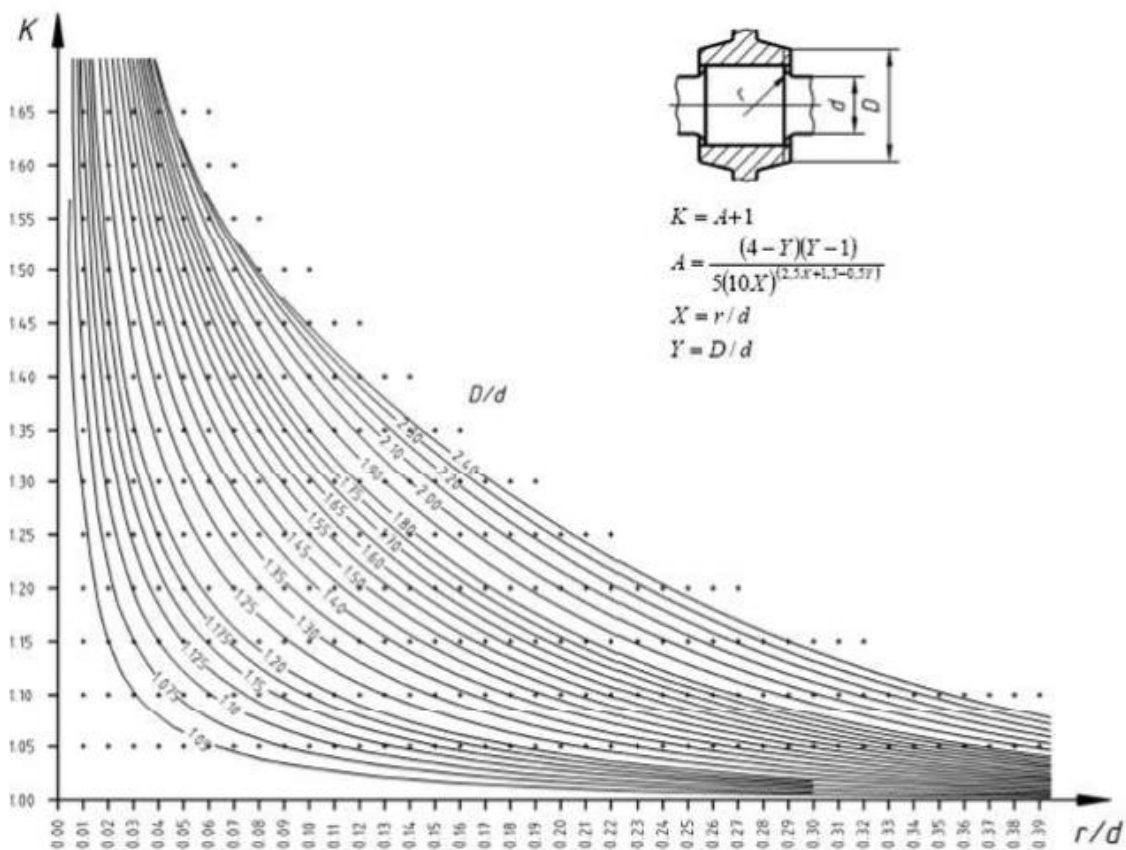


Figura 11 – Coeficiente de concentración de esfuerzos K en función de D/d y r/d (en la transición inferior entre dos partes cilíndricas)

En el caso de que una rueda o un disco de freno esté calado en la toma de calado, se entiende que D es igual al diámetro del cubo. En el caso de un obturador o un deflector, se entiende que D es igual al diámetro de calado, ya que el apriete entre las superficies de esas partes es pequeño.

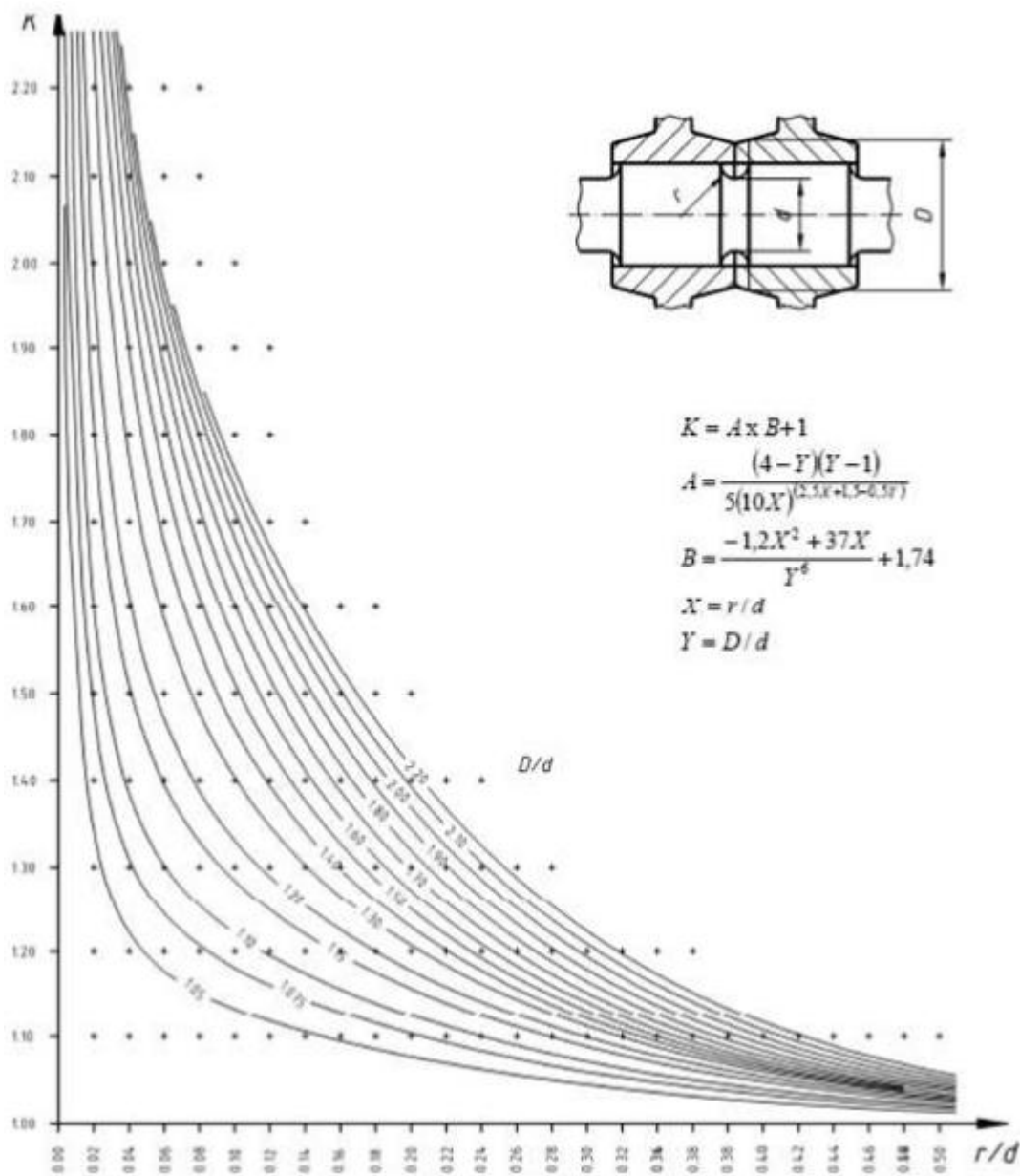
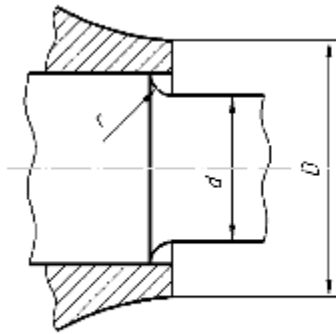
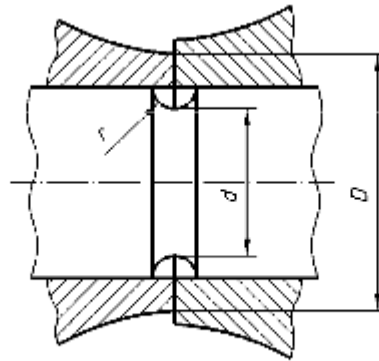
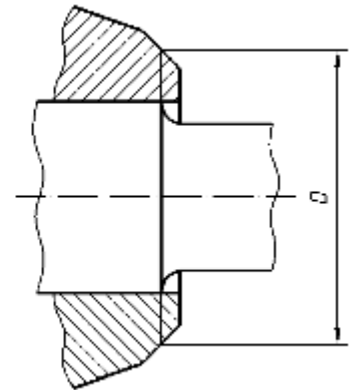


Figura 12 – Coeficiente de concentración de esfuerzos K como función de D/d y de r/d (fondo de la acanaladura)

En el caso de que una rueda, un disco de freno, una rueda de engranaje o un rodamiento esté calado en la zona de calado, se entiende que D es igual al diámetro del cubo o del rodamiento (véanse las figuras 13a, 13b y 13c). En el caso de un obturador, deflector o soporte, se entiende que D es igual al diámetro de calado, ya que el apriete entre las superficies de esas partes es muy pequeño.

**Figura 13a****Figura 13b****Figura 13c**

El diseño debe verificarse para los diámetros de sección mínima asociados a las tolerancias mínimas, incluyendo las tolerancias para reperfilados realizados durante el mantenimiento.

Los esfuerzos máximos en el eje se calculan de acuerdo con las siguientes fórmulas:

- Para un eje macizo:

$$\sigma = \frac{K \times 32 \times MR}{\pi d^3}$$

- Para un eje hueco:

$$\sigma = \frac{K \times 32 \times MR \times d}{\pi (d^4 - d'^4)}$$

La elección de los diámetros se puede verificar como se muestra en el capítulo de esfuerzos máximos permitidos más adelante, donde se comparan los esfuerzos calculados con los esfuerzos máximos permitidos. Hay que realizar una acanaladura poco profunda (de 0,1 mm a 0,2 mm) para que la extremidad de la pista interior del rodamiento no provoque una entalla en la mangueta (véase la figura 14).

La transición entre la mangueta y la zona de calado del obturador se realiza conforme a lo especificado en las figuras 14 y 17.

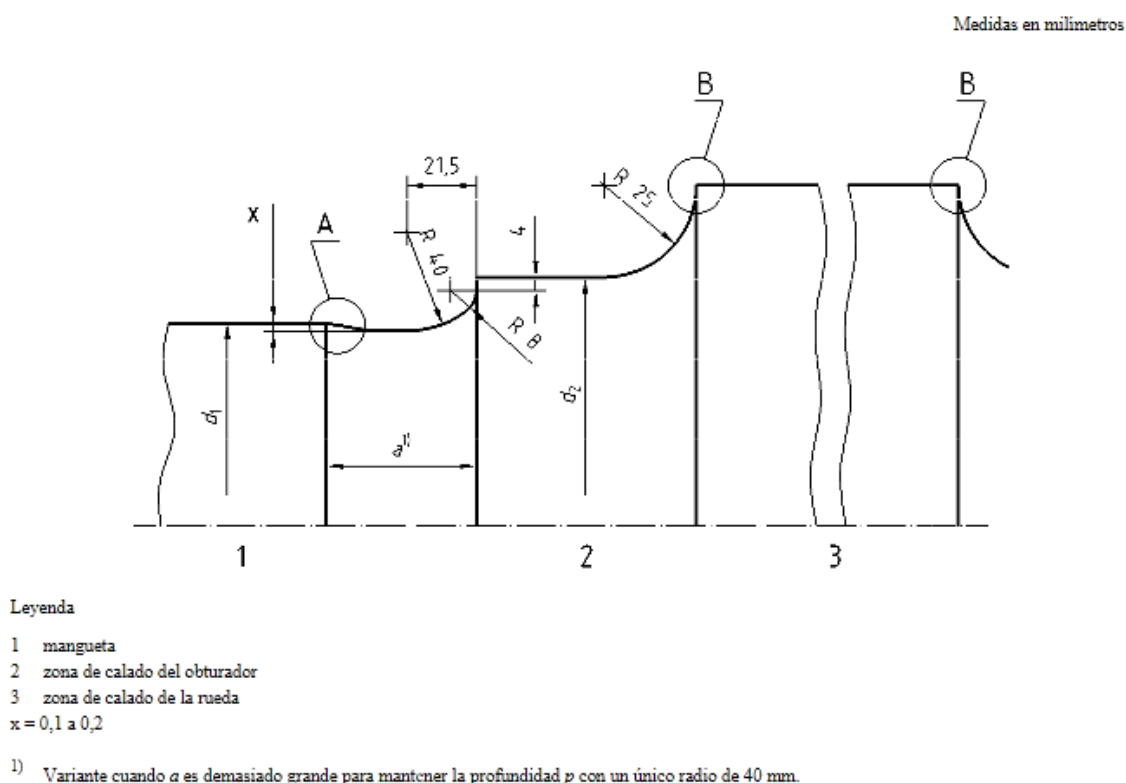
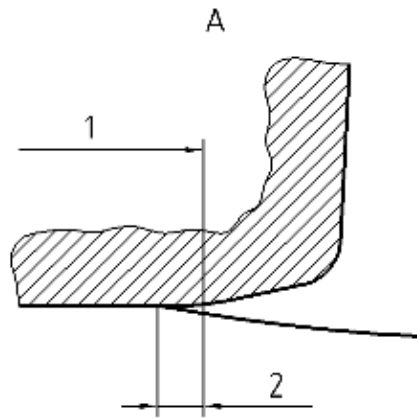


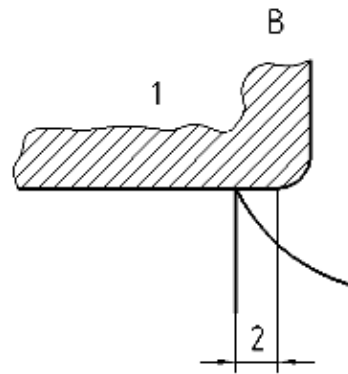
Figura 14: Zonas de transición entre: la mangueta y la zona de calado del obturador y entre la zona de calado del obturador y la zona de calado de la rueda



Leyenda

- 1 parte cilíndrica de la pista interior del rodamiento
2 solapamiento: ≥ 2 hasta ≤ 3

Figura 15 – Detalle A de la figura 15.



Leyenda

- 1 cubo de rueda
2 solapamiento: > 0 hasta ≤ 5

Figura 16 – Detalle B de la figura 15.

Leyenda

- 1 Surco cilíndrico inferior (fondo)

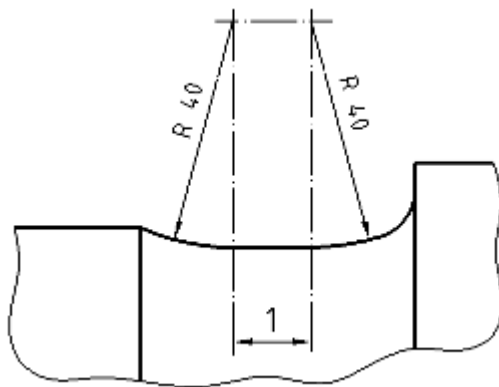


Figura 17 – Transición entre la mangueta y la zona de calado del obturador.

Para poder normalizar, cuando sea posible, la transición entre la superficie de la zona de calado del obturador y la zona de calado de la rueda debería tener un único radio de 25 mm.

Cuando no se puede alcanzar este valor, se elige el valor más alto posible a fin de minimizar la concentración de esfuerzos en esta zona.

La relación entre el diámetro de la zona de calado de la rueda y los diámetros del cuerpo del eje debe ser por lo menos igual a 1,12, cuando esté en el límite de desgaste

del eje. Se recomienda que esta relación sea por lo menos igual a 1,15 para un eje nuevo.

La transición entre estas dos zonas se efectúa de tal manera que la concentración de esfuerzos se mantiene en el nivel más bajo posible.

Las longitudes de la zona de calado y del cubo de la rueda se eligen de tal manera que esta última sobresalga ligeramente de la zona de calado, en particular, en el lado del cuerpo del eje. El diseño debe garantizar que, en las cotas límites de mantenimiento, se produce un solapamiento para las configuraciones límite, incluyendo las tolerancias de mantenimiento.

NOTA 1: El punto de medición en el eje montado corresponde al punto de intersección del radio de transición con la superficie del cono de entrada.

NOTA 2: El criterio de solapamiento es de aplicación en el voladizo del cubo de la rueda y en las ruedas de engranaje y los discos de freno sobre sus respectivas zonas de calado.

A fin de conseguir un valor bajo de K en la transición entre el cuerpo del eje y las zonas de calado de la rueda, del disco o de la rueda de engranaje, el valor del radio del lado del cuerpo debe ser por lo menos igual a 75 mm.

NOTA 3: Las recomendaciones están disponibles en el apartado 4.3.2 del informe ORE RP 11.

La figura 18 muestra un ejemplo de esta transición.

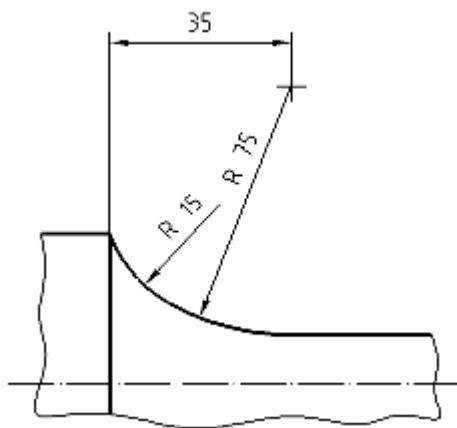


Figura 18 – Transición entre el cuerpo y la zona de calado.

Para dos zonas de calado no adyacentes el procedimiento es el siguiente:



- Se calcula el diámetro de cada una de las zonas de calado;
- Se prevén los cubos de las ruedas salientes o en exceso;
- Se utiliza en la medida de lo posible, las transiciones recomendadas. Para diseños que tienen una relación de diámetros inferior a 1,12, el límite de fatiga en la zona de calado puede ser inferior al valor exigido en los apartados posteriores. Estos valores deben verificarse para los tres ejes de geometría representativa (con la relación de diámetros más pequeña y la menor profundidad de la acanaladura) y de conformidad con los requisitos de ensayo del apartado 3.2.1 del anexo C de la Norma EN 13260:2009;
- Se prevén una parte cilíndrica entre las dos transiciones.

4.1.4. ESFUERZOS MÁXIMOS PERMITIDOS.

Los valores de los límites de fatiga para aceros EA1N son los siguientes:

- Para un eje macizo:
 - 200 N/mm² sin calado con apriete;
 - 120 N/mm² con calado con apriete;
- Para un eje hueco:
 - 200 N/mm² sin calado con apriete;
 - 110 N/mm² con calado con apriete, excepto la mangueta;
 - 94 N/mm² con calado con apriete sobre la mangueta;
 - 80 N/mm² para la superficie del hueco.

Las tablas 6 y 7 muestran respectivamente para el eje macizo y hueco:

- El valor del coeficiente de seguridad S , por el cual se tienen que dividir los límites de fatiga para obtener los esfuerzos máximos admisibles;
- Los esfuerzos máximos admisibles.

Estos valores sólo se aplican si la política de protección y mantenimiento aplicada al eje garantiza una protección eficaz contra los choques y la corrosión durante toda la vida del eje y asegura el mantenimiento de la condición original de la superficie del material del eje.

Si existe alguna duda relativa al mantenimiento de la eficacia de la protección contra choques y corrosión, entonces los límites de fatiga se deben dividir por un factor adicional.

NOTA: El diseñador y el operador del vehículo deberían acordar el coeficiente de seguridad adicional en función de la política de mantenimiento del operador. Por ejemplo, un factor adicional del orden de 1,3 debería aplicarse para las calidades EA1N, EA1T y EA4T.

Tabla 6 – Esfuerzos máximos permitidos para ejes macizos con calidad de acero EA1N

Coefficiente de seguridad S	Zona 1 ^a N/mm^2	Zona 2 ^b N/mm^2
1,2	166	100
^a Zona 1: cuerpo del eje, zonas de calado de rodamiento y curvas de transición. ^b Zona 2: zonas de calado de rueda, de disco de freno, de rodamiento y de obturador.		

Tabla 7 – Esfuerzos máximos permitidos para ejes huecos para calidad de acero EA1N

Coefficiente de seguridad S	Zona 1 ^a N/mm^2	Zona 2 ^b N/mm^2	Zona 3 ^c N/mm^2	Zona 4 ^d N/mm^2
1,2	166	92	78	67
^a Zona 1: cuerpo del eje, zonas de calado de rodamiento y curvas de transición. ^b Zona 2: todas las zonas de calado, excepto manguetas y zonas de calado de rodamiento. ^c Zona 3: mangueta (debajo del rodamiento). ^d Zona 4: hueco.				

El límite de fatiga para aceros distintos al EA1N se debe determinar haciendo referencia a:

- La superficie del cuerpo del eje;
- Por debajo del calado, con condiciones de apriete equivalentes a las de las zonas de calado de las ruedas.

En el caso de un eje hueco, el límite de fatiga también se debe determinar haciendo referencia a:

- La superficie interior del hueco;
- La superficie del rodamiento con condiciones de apriete equivalentes entre rodamiento y eje.

El valor del coeficiente de seguridad S , por el cual se tienen que dividir los límites de fatiga para obtener los esfuerzos máximos permitidos, es igual a:

$$S = 1,2 \times \frac{q(\text{otro acero})}{q(\text{EA1N acero})}$$

Donde:

$$q = \frac{R_{fL}}{R_{fE}}$$

1,2 es el valor del coeficiente de seguridad para ejes de acero EA1N;

R_{fL} es el límite de fatiga en flexión rotativa hasta 10^7 ciclos para probetas lisas;

R_{fE} es el límite de fatiga en flexión rotativa hasta 10^7 ciclos para probetas con entallas.

$$q(\text{EA1N acero}) = \frac{250 \text{ N/mm}^2}{170 \text{ N/mm}^2} = 1,47$$

q (para otras calidades de acero) debe determinarse con probetas lisas o con entallas de unos 10 mm de diámetro. Las características geométricas de las entallas se muestran a continuación:

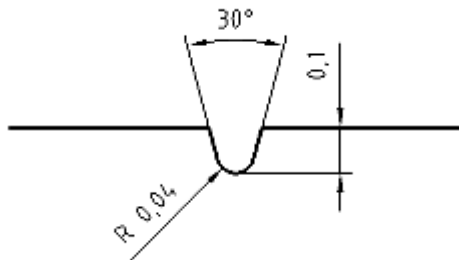


Figura 19. Características geométricas de las entallas.

EJEMPLO: Calidad de acero EA4T (25CrMo4).

Los límites de fatiga para un eje macizo son los siguientes:

- 240 N/mm² fuera de la zona de calado;
- 145 N/mm² en zona de calado;

Y para ejes huecos:

- 240 N/mm² fuera de la zona de calado;
- 132 N/mm² en zona de calado, excepto las manguetas;
- 113 N/mm² en zona de calado en la mangueta;
- 96 N/mm² para la superficie interior del hueco.

El valor del coeficiente de seguridad S se determina de la siguiente manera:

$$R_{fL} = 350 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{fE} = 215 \text{ N/mm}^2$$

$$q = 350/215 = 1,63$$

Por lo tanto, $S = 1,2 \times 1,63/1,47 = 1,33$.

Los esfuerzos máximos permitidos se muestran en las tablas 8 y 9.

Tabla 8 – Esfuerzos máximos permitidos para ejes macizos para calidad de acero EA4T

Coefficiente de seguridad S	Zona 1 ^a N/mm ²	Zona 2 ^b N/mm ²
1,33	180	110
^a Zona 1: cuerpo del eje, zonas de calado de rodamiento y curvas de transición. ^b Zona 2: zonas de calado de rueda, de disco de freno, de rodamiento y de obturador.		

Tabla 9 – Esfuerzos máximos permitidos para ejes huecos para calidad de acero EA4T

Coefficiente de seguridad S	Zona 1 ^a N/mm ²	Zona 2 ^b N/mm ²	Zona 3 ^c N/mm ²	Zona 4 ^d N/mm ²
1,33	180	99	85	72
^a Zona 1: cuerpo del eje, zonas de calado de rodamiento y curvas de transición. ^b Zona 2: todas las zonas de calado, excepto manguetas y zonas de calado de rodamiento. ^c Zona 3: mangueta (debajo del rodamiento). ^d Zona 4: hueco.				

Para aceros de calidades distintas a EA1N y EA4T, tal y como se ha definido anteriormente, véase el anexo D de la normativa EN 13103 para la determinación de los valores límite de fatiga para el diseño.

4.2. BLOQUE DE CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

4.2.1. FATIGA E IMPACTO

En un buen diseño, se intenta siempre minimizar la magnitud de los esfuerzos de fatiga e impacto, pero a pesar de todo es imposible erradicarlos del sistema. Para solucionar dicho problema se utiliza el método de ciclos de vida infinitos, es decir, se utiliza una pieza que, ya sea por las propiedades del material del que esté compuesta (módulo de Young, coeficiente de Poisson, límite elástico, tratamiento térmico del material...), por parámetros de diseño (longitud, diámetro, cambios de sección, precisión del acabado, etc.) o por la disposición geométrica que abarque en función del resto de elementos asociados al sistema (situación de los apoyos, zona del eje donde la carga a fatiga produce mayor momento flector, etc.), sea capaz de soportar para más de 10^7 ciclos dichos esfuerzos. El método de análisis es el conseguido a través de la fórmula y los coeficientes de Marin y la utilización de la gráfica S-N. En los anexos de las normativas correspondientes se detallará el modelo de cálculo a utilizar para estos elementos, sin embargo, a continuación se muestran los diferentes ensayos y pruebas que se llevan a cabo siguiendo las normativas para asegurar que este fenómeno no produzca perjuicio alguno en el elemento mecánico.

Ensayo de fatiga para ejes de ferrocarril. Según norma EN13261 y acero tipo A1N y A4T.

Después del mecanizado, las probetas fueron pulverizadas con sal en tiempos T1 y T2.

El número total de probetas era:

- Acero A1N: 13 probetas para uso aeronáutico con entallas en T1.

15 probetas para uso aeronáutico lisas en T1.

15 probetas para uso aeronáutico lisas en T2.

- Acero A4T: 15 probetas para uso aeronáutico lisas en T1.

9 probetas para uso aeronáutico lisas en T2.

Todas las pruebas de fatiga se llevaron a cabo y se analizaron según el método de la escalera, descrito en la norma NF A 03-405. La razón de carga $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = -1$ para todos los ensayos. El límite de fatiga en 10^7 ciclos se obtiene con un 50 por ciento de probabilidad de no fracaso.

El nivel de reducción se obtiene al comparar el nivel de resistencia, determinado sobre probetas corroídas σ_{ex} con la de material de sonido σ_{ref} . Sin embargo, en la resultante de reducción se tienen en cuenta dos fenómenos.

- el aumento local de tensión ligado a la geometría de los hoyos de corrosión (efecto de entalla).
- el aumento de la eficacia aplicada a la resultante de tensión de la sección de la sección transversal en la pérdida de las probetas.

El impacto de la pérdida de la sección transversal (el cual es insignificante en los ejes) puede superarse teniendo en cuenta la eficacia residual de la sección transversal de la probeta después de la corrosión. Este último se puede calcular a través del límite de la resistencia corregida obtenida en probetas corroídas.

Ensayos de la propagación de la grieta. Según norma NF A 03404 y probetas CCT.

Se aplicó un protocolo diseñado para mantener la solidez de las zonas de agrietamiento en cada probeta que consiste en colocar un tope en el punto extremo de la grieta visible antes de cada exposición de pulverizado de sal.

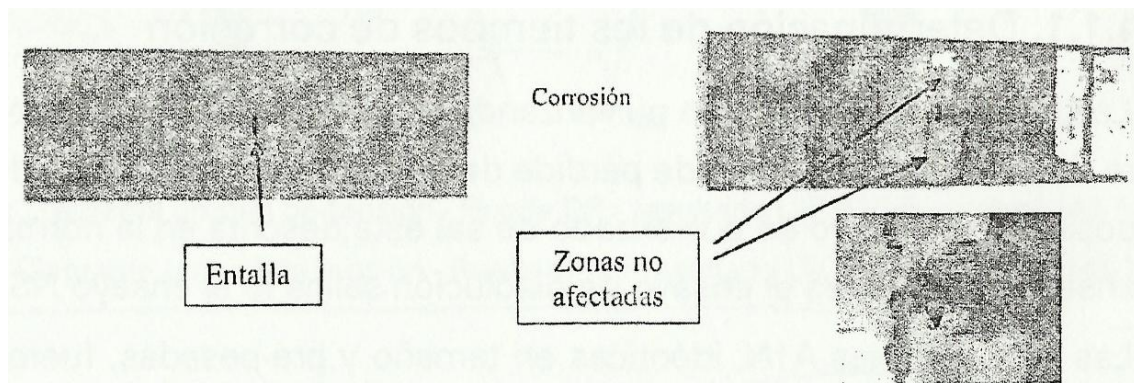


Figura 20. Propagación de grieta.

Las probetas expuestas al pulverizado de sal, a excepción de las utilizadas en el cálculo de la tasa de crecimiento de grieta en el material de sonido son retiradas de la cámara después de tiempos T1 o T2.

Los ensayos de vigilancia de la grieta se llevan a cabo bajo 5 diferentes razones de carga (-1, 0.5, 0, 0.2, 0.4) El valor de la carga máxima se mantiene constante e igual a 100 MPa y la carga de fluencia es de 25 Hz.

Partiendo de la premisa de que la corrosión y las grietas no están relacionadas entre sí, y para garantizar que las superficies de las grietas están sometidas a un constante nivel de corrosión, cada ensayo se detiene en tres ocasiones con la exposición de la probeta al pulverizado de sal durante un tiempo de exposición T1 o T2.

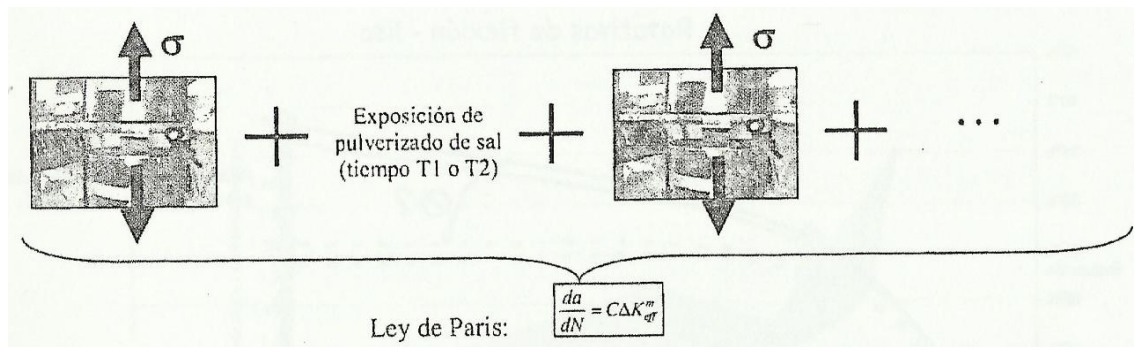


Figura 21. Proceso de pulverizado.

Las diferentes exposiciones de pulverizado muestran la falta de superficie observada al final del ensayo.

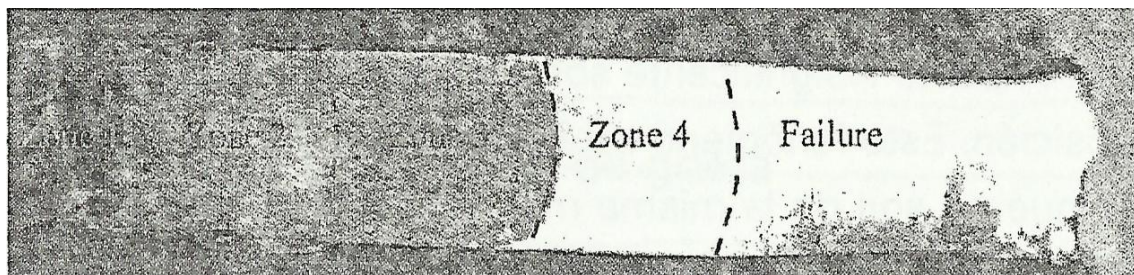


Figura 22. Zonas de pulverizado.

- Zona 1: entalla con preagrietamiento.
- Zona 2: 5 mm de grieta.
- Zona 3: 10 mm de grieta.
- Zona 4: 15 mm de grieta.

El objetivo es cubrir las superficies de la grieta con una capa de óxido y la evaluación de su influencia con respecto a la propagación de la grieta. Los resultados se presentan en forma de ley de Paris y en comparación con los materiales no corroídos.

Ensayo de resistencia a la fractura. Según norma NF EN ISO 12737. Acero A1N.

Las probetas de acero A1N se extraen de ejes en la dirección ZX.

Para simular situaciones de tensión-corrosión reales se someten las probetas a 10 kN de carga durante su exposición.

Resultados de la prueba de fatiga.

Material	Prueba	S_{ref} (MPa)	S_{ex} (MPa)	Reducción total (%)	Resultante de la reducción de defectos solo en la superficie (%)
A1N	Probetas de uso aeronáutico con entallas T1	170	147	14	---
	Probetas de uso aeronáutico lisas T1	250	184	26	23
	Probetas de uso aeronáutico lisas T2	250	154	38	26
A4T	Probetas de uso aeronáutico lisas T1	350	260	26	23
	Probetas de uso aeronáutico lisas T2	350	224	36	23

Tabla 10. Resultados de la prueba a fatiga.

Para estudiar la influencia del nivel de corrosión en el límite de fatiga de los ejes, los cambios en el total de mitigación y reducción inducida por la degradación de la superficie solo se trazó por referencia del tiempo de exposición del pulverizado de sal para aceros A1N y A4T como puede verse en la figura 23. El comportamiento observado es idéntico para todos los materiales.

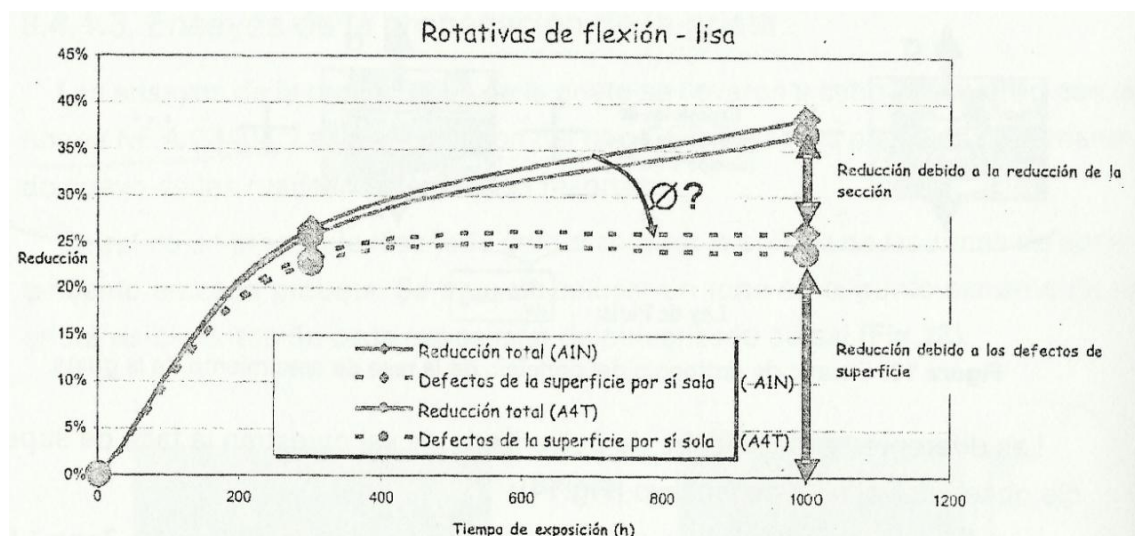


Figura 23. Influencia de la corrosión en el límite de fatiga.

Esta representación, obtenida de la cinética de corrosión, introduce una distinción entre las reducciones imputables en la pérdida de la sección transversal y la imputable formación de hoyos de corrosión, que se estabiliza en torno a un 25%.

La pérdida de la sección transversal no tiene un impacto significativo sobre el total de reducción de los tiempos de larga exposición. Este fenómeno está relacionado con el tamaño de las probetas utilizadas, que no son de la misma magnitud que el tamaño de un eje a escala real, y que, por tanto, son mucho más sensibles a la pérdida de masa. Para diámetros superiores a 30 mm, el impacto del aumento de la tensión vinculado a la reducción de la sección transversal de la sección transversal es insignificante, para un eje a escala real, el total de reducción del límite de resistencia sólo será vinculado a la formación de defectos superficiales, y por eso se estabiliza en torno al 25% para las condiciones de los ensayos realizados.

Métodos de detección de microgrietas.

Los métodos que se pueden utilizar para la detección de microgrietas mediante inspección no destructiva (IND) son: líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonidos, rayos X e inspección visual. Sus características se detallan en la siguiente tabla:

Técnica de IND	Materiales	Capacidad detección	Detección profundidad	Problemas de acceso	Detección remota	Detección automática	Evaluación orientación
Líquidos penetrantes	Todos	Superficial	No	Si	No	No	No
Partículas magnéticas	Magnéticos	Superficial o cerca de la superficie	No	Si	No	No	No
Ultrasonidos	Todos	Volumétrica	Si	Limitado	Si	Si	Si
Rayos X	Todos	Volumétrica	Si	Si	No	Si	Si
Visual	Todos	Superficial	No	Limitado	No	No	No

Tabla 11. Métodos para la detección de microgrietas.



¿Por qué a pesar de tan minucioso estudio se siguen produciendo fracturas por fatiga?

La razón de esto es de compleja explicación pero fácil resumen. En ocasiones no se siguen los criterios determinados, otras veces es la combinación de varios efectos adversos producidos sobre el eje, como puede ser la combinación de la fatiga generada por las cargas explicadas con anterioridad y la suma de los impactos de otros elementos como pueden ser piedras de pequeño tamaño, o con defectos de fabricación admisibles, como microscópicas fisuras internas, de tamaño y efectos despreciables, pero que en combinación con estas cargas producen un aumento en el daño infligido a la estructura del elemento, por ello que deban revisarse con cercana periodicidad dichos elementos mecánicos, para detectar el aumento de una fisura. También puede producirse la coincidencia de efectos físicos y químicos que perjudiquen las propiedades del eje, como puede ser sumar óxido o corrosión a impactos o fatiga, o a los pequeños defectos tolerables de fabricación antes citados.

4.2.2. CORROSIÓN.

Determinación de los tiempos de corrosión.

Los ensayos de exposición pulverizando sal fueron llevados a cabo en probetas para determinar la ecuación de pérdida de masa como una función del tiempo de exposición. El ensayo de pulverizado de sal está descrito en la norma ISO 9227 y el ensayo realizado es el ensayo de disolución salina (ensayo NSS).

Las seis probetas de acero AN1, idénticas en tamaño y pre-testadas fueron expuestas pulverizando sal: cada probeta fue quitada de la cámara salina después de un tiempo de exposición comprendido entre cero y mil horas. A continuación, las probetas fueron pesadas después de haber sido químicamente recorridas por sus óxidos.

De este modo se obtiene la curva dada de pérdida de masa por unidad de superficie como una función del tiempo de cuya aproximación polinomial puede ser formulada como sigue (figura 24).

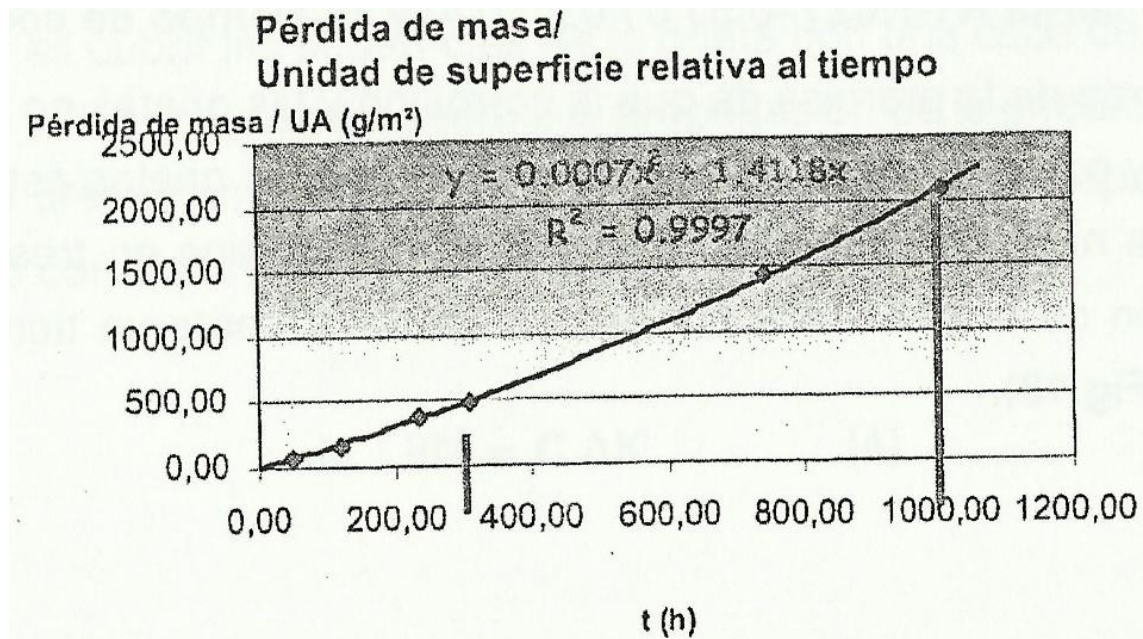


Figura 24. Tiempos de corrosión.

Protección frente a la corrosión.

- Protección galvánica: se recubre la superficie con un elemento más activo que dicha superficie, siendo este el que se oxida.
- Protección catódica: se usa para estructuras enterradas y consiste o bien en electrificar la estructura o en añadir un ánodo de sacrificio.
- Protección anódica: consiste en proteger a los materiales a partir de la formación de su propio óxido si este es protector.

Experimentos en ambiente corrosivo: procedimiento experimental.

En principio, la corrosión atmosférica en ejes de ferrocarril puede atribuirse a los procesos electroquímicos que ocurren en las superficies metálicas bajo las condiciones ambientales metálico/seco, la exposición intermitente a la niebla y la lluvia o servicio en zonas cercanas a lugares marinos. Por lo tanto, la exposición de un eje en su vida real de funcionamiento podría ser considerada para proporcionar información más eficaz acerca de la corrosión atmosférica de dicho componente, pero se tarda bastante tiempo. Los ensayos acelerados de laboratorio, pueden producir datos útiles en un plazo más breve y son eficientes en la evaluación de la durabilidad de los metales en determinados ambientes. Particularmente, la exposición a ciclos de mojado/seco y en ambientes con residuos de ión Cl^- concentrados, son eficientes en la aceleración de los procedimientos para ensayos de laboratorio. Estos métodos se utilizaron para simular la atmósfera agresiva del medio ambiente sobre las muestras durante las pruebas de fatiga.

Recomendaciones para ejes.

La norma EN 13261 define cuatro niveles de protección contra la corrosión de ejes: Desde la clase 1 que son expuestos a la corrosión atmosférica y los impactos mecánicos hasta la clase 4 que son expuestos a la corrosión atmosférica con tensiones por debajo del 60% de la tensión umbral correspondiente a un estado sin protección. Los resultados obtenidos sugieren un límite de fatiga de un eje corroído del 75% del límite de uno no corroído, independientemente del tiempo de corrosión.

Las recomendaciones para la clase 4 (sin protección) son conservadoras, por lo que no es necesario modificar las especificaciones actuales.

En ausencia del efecto de la corrosión sobre la tasa de crecimiento de la grieta de una frecuencia suficientemente alta de fatiga disociada y de corrosión, no hay ninguna recomendación especial a seguir en el diseño, fabricación o mantenimiento.

4.3. BLOQUE FASE DE MONTAJE (BLOQUE NORMATIVO 13260-13261).

4.3.1. MONTAJE DE COMPONENTES.

Los aprietes utilizados para el calado debe definirlos el diseñador del elemento que se tiene que calar en función tanto de las características del material que constituye el elemento como de las fuerzas y del par de torsión que el calado tiene que transmitir. Este apriete se debe definir según las tolerancias geométricas de las zonas de calado de ejes especificadas en la Norma EN 13261.

Para el calado de ruedas, a no ser que se especifique otra cosa por parte del diseñador de la rueda, los valores de apriete que se tienen que utilizar se reflejan en el apartado siguiente.

En el caso de calado en caliente, debería calentarse toda la rueda sin superar los 250 °C de temperatura. Si se utiliza otro método de calentamiento, se debe aportar una prueba de que no se han visto afectadas las características de las ruedas especificadas en la Norma EN 13262.

Si se utiliza un método diferente de calado, éste debe ser objeto de acuerdo entre el cliente y el proveedor. En este acuerdo, el proveedor debe demostrar como mínimo que en el calado no se modifican las características del eje y de la rueda definidas en las Normas EN 13261 y EN 13262. Así pues, debe demostrarse la resistencia mecánica del montaje (véase el apartado de resistencia mecánica a los montajes) y deben definirse los documentos de trazabilidad de cada calado, de forma que se proporcione el mismo tipo de información que se especifica en el capítulo F.5 de los anexos de la normativa EN 13260.

El desequilibrio estático de las dos ruedas de cada eje montado debe estar en el mismo plano diametral y en el mismo lado del eje. El desequilibrio estático de las ruedas de engranaje y de los discos de freno debe estar en el mismo plano que los de las ruedas, pero en el lado opuesto del eje.

El anexo normativo A de la EN 13260 define la forma de la curva que se tiene que obtener.

La fuerza de calado final, en MN, es función de la fuerza F definida en el apartado de resistencia mecánica a los montajes y debe situarse en el intervalo:

$$0,85 F < \text{fuerza de calado final} < 1,45 F$$



La prensa utilizada en los montajes debe tener un sistema calibrado para trazar el diagrama del valor de la fuerza en cada posición del elemento que debe calarse, obtenido durante el desplazamiento de éste sobre el eje. La escala de abscisas del desplazamiento debe ser al menos igual a 0,5 veces el desplazamiento real del elemento que debe calarse. La escala de ordenadas de la fuerza debe permitir que se lea la fuerza en cada punto de la curva con una precisión de 0,025 MN. La precisión del captador de la fuerza debe ser de 0,01 MN. Las abscisas y las ordenadas pueden invertirse.

En caso de registro punto a punto, debe trazarse al menos un punto por milímetro de desplazamiento relativo de los elementos que se van a calar y por 0,025 MN de variación de fuerza.

4.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL EJE MONTADO.

- Resistencia mecánica.

El diseñador del elemento que se va a calar debe definir esta fuerza F .

Para las ruedas, a menos que el diseñador especifique otra cosa, el valor de la fuerza F en MN es:

$$F = 4 \cdot 10^{-3} \, dm$$

Cuando $0,8 \, dm < L < 1,1 \, dm$

Donde dm es el diámetro medio de la zona de calado en mm y L es la longitud del calado en mm.

El ensayo debe efectuarse en una prensa equipada con un aparato que registre las fuerzas.

La fuerza se aplica gradualmente hasta alcanzar el valor de F entre una de las caras del cubo del componente calado y el eje.

Para ruedas caladas a presión, el ensayo debe llevarse a cabo al menos 48 h después del calado.

Para ruedas caladas en caliente, el ensayo debe desarrollarse cuando las ruedas y el cubo han recuperado su temperatura después del calado.

- Resistencia a fatiga.

El límite de fatiga F_4 se comprueba por medio de ensayos durante la fase de cualificación. El límite de fatiga F_5 puede calcularse mediante los cocientes:

$$F / F = 1,17 \text{ y } F / F = 1,276.$$

Las características de fatiga F y F del eje se definen en la Norma EN 13261.

En la tabla 12 se dan los valores mínimos para ejes montados compuestos por un eje de acero de grado EA1N.

Tabla 12 Valores mínimos para ejes montados con un eje de acero EA1N

Límite de fatiga	F_3	F_4	F_5
N/mm ²	120	110	94

Para otros grados de acero, los valores se dan en el anexo normativo B de la normativa EN 13260.

Para los ensayos de fatiga de los ejes montados, debe calarse una rueda o una probeta de dimensiones similares (especialmente el cubo) en caliente o a presión en la zona de calado de la rueda. El apriete debe cumplir los requisitos nombrados en apartados anteriores.

No es obligatorio utilizar un eje montado como probeta. En el anexo informativo C de la normativa EN 13260 se dan ejemplos de probetas.

Los ensayos deben efectuarse en máquinas capaces de originar tensiones de flexión rotativa en la zona donde se inicia la fisura.

Para cada límite, F_3 y F_4 , debe comprobarse que no aparezca fisura alguna en tres probetas, después de 10^7 ciclos de carga, creando una tensión en superficie igual a F_3 o F_4 .

Estos niveles de tensión deben calcularse en la zona de calado, de acuerdo con la teoría del comportamiento de las vigas, sin tener en cuenta los esfuerzos de apriete.

- Desequilibrio.

Los valores máximos se dan en la tabla 13. Se miden en el plano de las ruedas.

Tabla 13. Valores máximos de desequilibrio

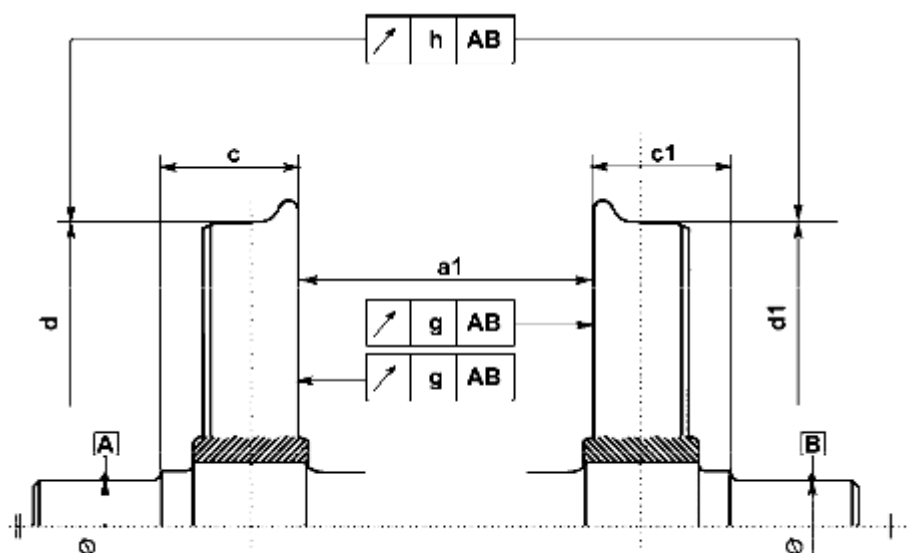
Velocidad (km/h)	Desequilibrio máximo por plano de medición (g.m)
$120 < V \leq 200$	75
$V > 200$	50

El desequilibrio se mide en un eje totalmente montado y mecanizado.

El cliente y el proveedor deben acordar el dispositivo y el método de medición.

- Medidas y tolerancias.

Las tolerancias de los parámetros definidos en la figura 25 deben ser las exigidas en la tabla 14.

**Figura 25. Parámetros de la rueda****Tabla 14. Tolerancias de los parámetros de la rueda**

Medidas en milímetros

Descripción	Símbolo	Categoría 2		Categoría 1
		a	b	
Distancia entre las caras internas de las ruedas ^a	a_1	$+2^b$ 0		$+2^b$ 0
Diferencia de las distancias entre la cara interna de cada rueda y el plano en el lado de la mangueta que define la a superficie correspondiente del collarín	$c - c_1$ o $c_1 - c$	δ 1		δ 1
Diferencia de los diámetros de los círculos de rodadura	$d - d_1$ o $d_1 - d$	δ 0,5	δ 0,3	δ 0,3
Desviación radial en el círculo de rodadura	h	δ 0,5	δ 0,3	δ 0,3
Desviación axial de la cara interna de las ruedas ^a	g	δ 0,8	δ 0,5	δ 0,3

^a Medición tomada a 60 mm bajo la cima de la pestaña.
^b Las tolerancias pueden variar en diseños especiales de ejes montados.

Las tolerancias de los parámetros definidos en las figuras 26 y 27 deben ser exigidas en las tablas 15, 16 y 17.

Tabla 15. Desviación axial de la cara interna

Medidas en milímetros

Descripción	Símbolo	Categoría 2a	Categoría 2b	Categoría 1
Desviación axial de la cara interna ^a	g_1	δ 0,75	δ 0,5	δ 0,5

^a Véanse las figuras 2 y 3. Mediciones realizadas a 30 mm desde el diámetro externo.

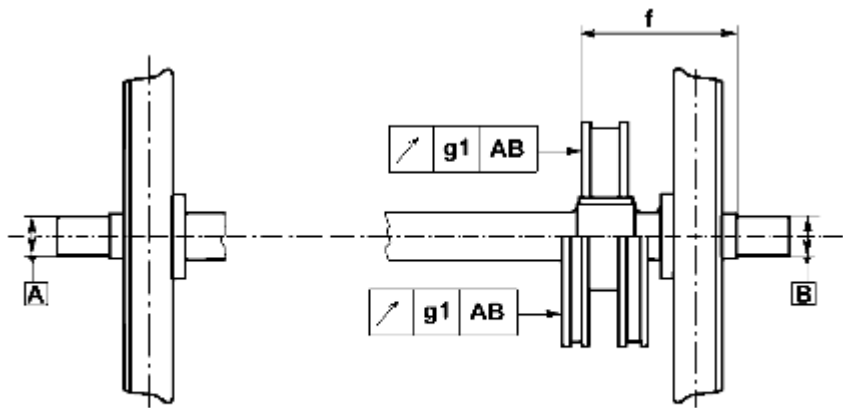


Figura 26. Eje con una única zona de calado para uno o dos discos de freno

Tabla 16. Tolerancias para los ejes con una zona de calado para uno o dos discos de freno

Medidas en milímetros

Descripción Símbolo		Categoría 1 y 2
Distancia entre la cara interna de la corona del disco y el plano del lado de la mangueta que define la correspondiente caja de grasa	f	$\pm 0,5$

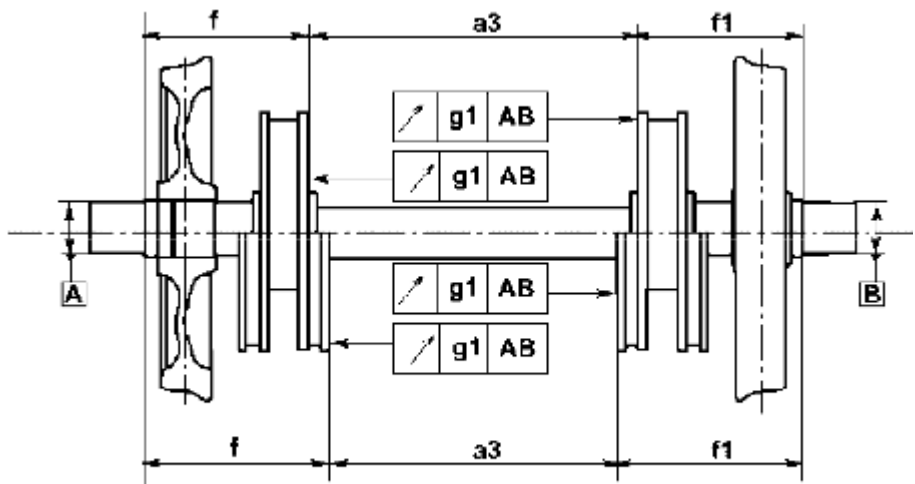


Figura 27. Ejes con dos zonas de calado para dos o cuatro discos de freno

Tabla 17. Tolerancias para ejes con dos zonas de calado para dos o cuatro discos de freno

Medidas en milímetros

Descripción Símbolo		Categoría 1 y 2
Distancia entre las caras internas de las coronas de disco	a_3	$\pm 0,5$
Diferencia de distancias entre la cara interna de cada disco y el plano del lado de la mangueta que define la superficie correspondiente del collarín	$f-f_1$ o f_1-f	$\delta 1$

Si hay más de dos zonas de calado para los discos de freno, las tolerancias en las dimensiones tales como a o $f-f$ (véase la figura 27) son las mismas que en el apartado anterior.

La tabla 18 detalla las tolerancias de los parámetros definidos en la figura 28.

Tabla 18. Tolerancias de ruedas dentadas cilíndricas para ejes motores, reductores, etc.

Medidas en milímetros

Descripción	Símbolo	Categoría 2	Categoría 1
Desviación radial ^a	h_1	b	b
Desviación axial ^a	g_2	b	b
Distancia entre la superficie de referencia lateral de la rueda dentada y el plano del lado de la mangueta que define la correspondiente caja de grasa ^a	c_2	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$
^a Véase la figura 4. ^b Según las especificaciones del diseñador.			

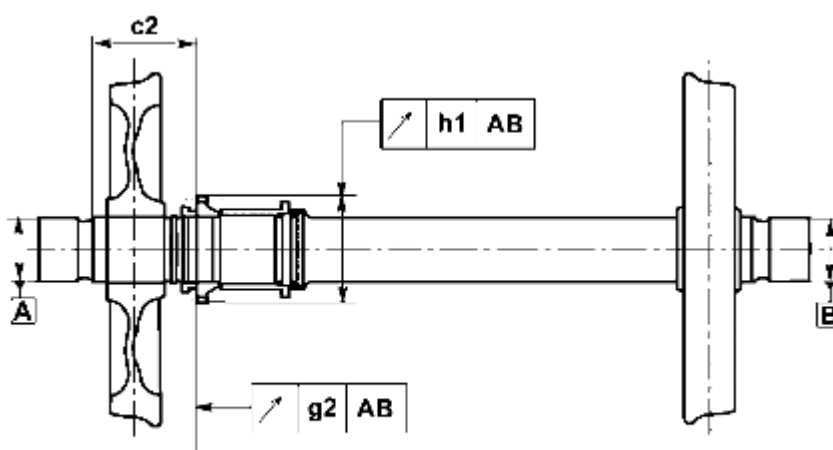


Figura 28. Ruedas dentadas cilíndricas para ejes motores, reductores, etc.

- Tensiones residuales.

En las zonas de calado en los ejes a una profundidad de 0,1 mm por debajo de la superficie, las tensiones residuales deben ser $\geq 100 \text{ N/mm}^2$ a tracción.

Los componentes de los ejes montados deben estar protegidos según los requisitos de sus respectivas normas.

Las cavidades que aparezcan por el voladizo del cubo de la rueda en la zona de calado deben protegerse o rellenarse con un producto anticorrosión.

- Marcado.

El eje montado debe identificarse, como mínimo, con las siguientes marcas (de acuerdo con la orden de compra):

- 1) Tipo de eje montado;
- 2) Número de serie;
- 3) Marcas del ensamblador;
- 4) Fecha del montaje;
- 5) Marcas del propietario.

Estas marcas deben situarse en el extremo de la mangueta donde ya lleve las marcas del eje definidas en la Norma EN 13261 y debajo de éstas.

La mitad de la superficie del otro final de la mangueta debe estar exenta de marcas. Queda reservada para identificar las operaciones de mantenimiento. La otra mitad queda libre para cualquier otro marcado.

Las marcas deben ir punzonadas. Las rebabas que sobresalgan en el proceso de punzonado deben eliminarse para permitir comprobaciones por ultrasonidos en servicio.

Cada eje debe estar identificado, como mínimo, con las siguientes marcas estampadas:

- Marca del fabricante;
- Número de colada;
- Grado del acero;
- Mes y dos últimas cifras del año de producción;
- Número del eje en la serie, después de tratamiento térmico.

Estas marcas deben situarse sólo en un extremo de la mangueta y deben limitarse a la mitad de la superficie de dicho extremo. La otra mitad de la superficie debe dedicarse al marcado del fabricante del eje montado.

En el otro extremo de la mangueta, la mitad de la superficie debe estar libre de marcas. Se debe dedicar a las marcas del mantenimiento.

La configuración de este marcado debe estar definida en el pedido. Cualquier rebaba resultante de la estampación debe alisarse para permitir hacer el examen por ultrasonidos en servicio.

4.3.3. CARACTERÍSTICAS A FATIGA.

- Características mecánicas.

Los valores que se han de obtener a la mitad del radio en los ejes macizos o a mitad de distancia entre las superficies interior y exterior en los ejes huecos se dan en la tabla 19.

Tabla 19. – Valores a obtener a mitad del radio en ejes macizos o en el punto medio entre las superficies interior y exterior en ejes huecos

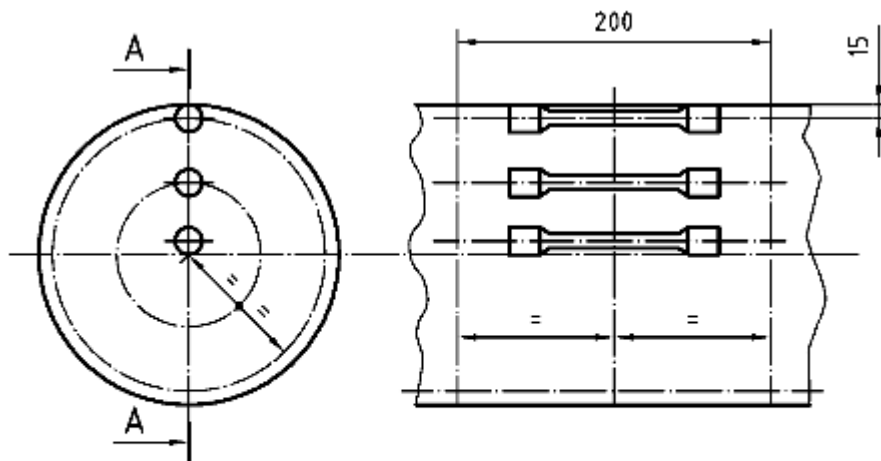
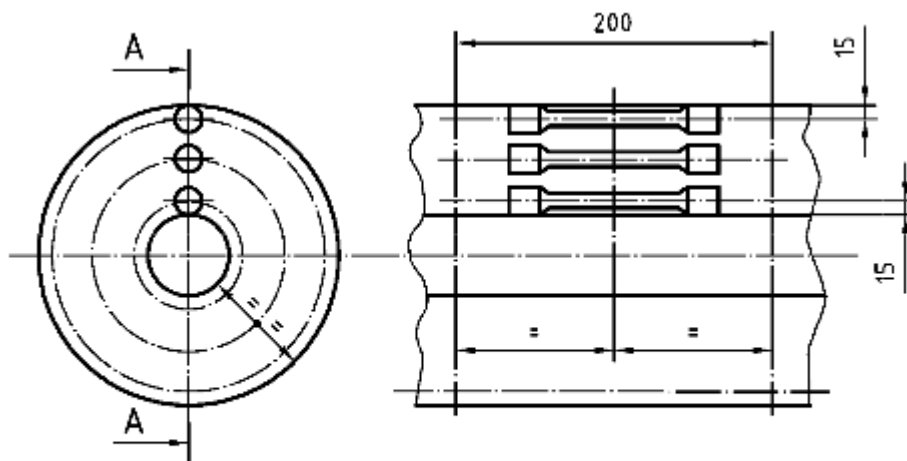
R_{eH} (N/mm ²) ^a	R_m (N/mm ²)	$A_5\%$
≥ 320	550-650	≥ 22
^a Si no figura el límite elástico, se debe determinar el límite convencional $R_{p0.2}$.		

Los valores a obtener cerca de la superficie exterior deben ser mayores o iguales a 0,95 veces los valores medidos a la mitad del radio en ejes macizos o a mitad de distancia entre las superficies interior y exterior en los ejes huecos.

Los valores a obtener en el centro de ejes macizos o cerca de la superficie interior de ejes huecos deben ser mayores o iguales a 0,8 veces los valores medidos a mitad del radio en ejes macizos o en el punto medio de las superficies interior y exterior.

Las probetas deben tomarse en tres niveles en la sección de mayor diámetro del eje:

- 1) Tan cerca de la superficie exterior como sea posible en todos los ejes;
- 2) En la mitad del radio y en el centro en los ejes macizos;
- 3) A mitad de distancia entre las superficies exterior e interior, y cerca de la superficie interior, en los ejes huecos como se muestra en las figuras 29 a) y b).

**Figura 29 a – Eje macizo****Figura 29 b – Eje hueco****Figura 29 – Localización de las probetas**

El ensayo debe realizarse según la Norma EN 10002-1. El diámetro de la probeta debe ser al menos de 10 mm en su parte calibrada. La base de medición del alargamiento debe ser cinco veces el diámetro.

- Características de resiliencia.

Las características de resiliencia deben determinarse a 20 °C en las direcciones longitudinal y transversal. Los valores que se han de alcanzar a la mitad del radio en ejes macizos, o a mitad de distancia entre las superficies interior y exterior en los ejes huecos se dan en la tabla 20.

Los valores obtenidos cerca de la superficie exterior deben ser mayores o iguales a 0,95 veces los valores obtenidos a la mitad del radio en ejes macizos o a mitad de la distancia entre las superficies exterior e interior en los ejes huecos.

Los valores obtenidos en el centro de ejes macizos o cerca de la superficie interior en ejes huecos, deben ser mayores o iguales a 0,8 veces los valores obtenidos a mitad del radio en ejes macizos o a mitad de distancia entre las superficies exterior e interior.

En cada nivel (superficie, mitad del radio, centro), el valor medio de las tres probetas (véase el apartado siguiente) se define en la tabla 20.

Ningún valor individual debe ser inferior al 70% de los valores indicados en la tabla 20.

Tabla 20 - Valores a obtener a la mitad del radio en ejes macizos o a la mitad de la distancia entre las superficies interior y exterior en ejes huecos

KU longitudinal (J)	KU transversal (J)
≥ 30	≥ 20

Las probetas deben tomarse en tres niveles en la sección de mayor diámetro del eje:

- 1) Tan cerca de superficie exterior como sea posible en todos los ejes;
- 2) En la mitad del radio y en el centro en los ejes macizos;
- 3) A mitad de distancia entre las superficies exterior e interior, y cerca de la superficie interior, en los ejes hueco;

Como se muestra en la figura 30a) y 30b).

El ensayo debe realizarse según la Norma EN 10045-1.

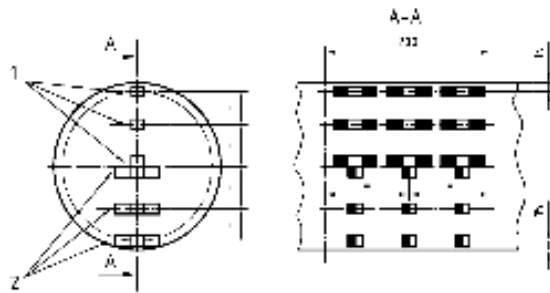


Figura 30 a - Eje macizo

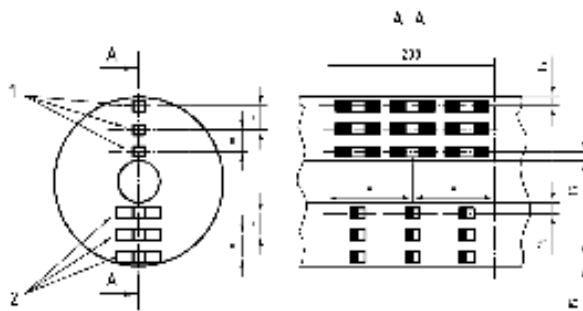


Figura 30 b - Eje hueco

Leyenda

- 1 probeta longitudinal
2 probeta transversal

Figura 30 :- Localización de las probetas

- Características de fatiga.

Los valores definidos en este apartado se usan para calcular las tensiones máximas admisibles a las que se hace referencia en las reglas de diseño de las Normas EN 13103 y EN 13104.

Para predecir el comportamiento de un eje bajo las tensiones en servicio, es necesario estimar los límites de fatiga en los dos campos siguientes:

- 1) Para el material, los ensayos se hacen en probetas de tamaño reducido cuyas formas no dependen de la geometría del producto;
- 2) Para el producto, los ensayos se realizan en probetas de tamaño real, cuyas dimensiones y fabricación son similares a las del producto final, así como sus defectos de fabricación admisibles asociados.

Los límites de fatiga en probetas de tamaño reducido se emplean para verificar que el efecto de la entalla del material del eje es acorde con el coeficiente de seguridad “S”, definido en las normas de diseño EN 13103 y EN 13104. Se determinan:

- En probetas de superficie lisa (límite de fatiga R_{fL});
- En probetas con entalla (límite de fatiga R_{fE}).

Los límites definidos para probetas de tamaño real se emplean para verificar que las características de fatiga del eje son acordes con las del cálculo de las tensiones máximas admisibles a las que se hace referencia en las normas de diseño EN 13103 y EN 13104.

Estos límites de fatiga se aplican a distintas zonas de un eje. Sólo se tienen en cuenta en esta norma los límites de fatiga que se aplican al cuerpo del eje. Los límites que se aplican a los ejes montados dependen sobre todo de su montaje y se contemplan en la Norma EN 13260.

Es necesario definir dos límites de fatiga:

- En la superficie del cuerpo del eje, límite F_1 ;
- En la superficie interior en el caso de un eje hueco, límite F_2 .
- Los valores que se han de obtener se dan en la tabla 21.

Tabla 21 – Valores límite de fatiga

Límite	F_1	F_2	R_{fL}	R_{fE}	$q = R_{fL} / R_{fE}$
Valor	$\geq 200 \text{ N/mm}^2$	$\geq 80 \text{ N/mm}^2$	$\geq 250 \text{ N/mm}^2$	$\geq 170 \text{ N/mm}^2$	$\leq 1,47$

Para la determinación de F_2 , la superficie de la probeta debe tener una entalla de 1 mm de profundidad, según se muestra en la figura 31b. Todas estas probetas deben proceder del mismo proceso de fabricación que el eje.

Para determinar R_{fL} y R_{fE} , el diámetro de las probetas es de alrededor de 10 mm en la zona de inicio de la fisuración. La rugosidad (R_a) de la probeta para la determinación de R_{fL} será menor o igual que $0,4 \mu\text{m}$. La entalla para la determinación de R_{fE} se muestra en la figura 31a. Estas probetas se localizan lo más cerca posible de la superficie del cuerpo del eje.

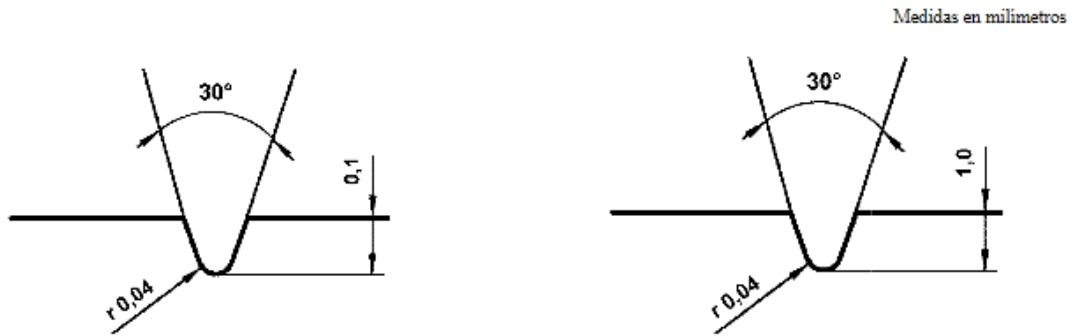
Figura 31 a – Entalla para la determinación de R_{FE} Figura 31 b – Entalla para la determinación de F_2

Figura 31' – Entallas de las probetas para fatiga

En el anexo H de la normativa EN 13261 se dan ejemplos de dibujos de probetas de tamaños real y reducido.

Para cada límite, F_1 y F_2 , se debe verificar que no hay fisuración en tres probetas después de 10^7 ciclos de carga que generen un nivel de tensión en superficie igual a F_1 y F_2 . Los valores de las tensiones se calculan según la teoría clásica de las vigas, donde se pueda aplicar. Si no, las tensiones deben medirse con extensómetros en las zonas en las que se inicien las fisuras por fatiga.

R_{FL} y R_{FE} deben determinarse para 10^7 ciclos para una probabilidad de no ruptura del 50%, que requiere el uso de, al menos, 15 probetas para cada límite y un método estadístico para la interpretación de los resultados.

- Características de las microestructuras.

La microestructura debe ser de ferrita y perlita. El tamaño del grano no debe ser mayor que el definido por el diagrama de referencia 5 en el anexo B de la Norma EN ISO 643:2003.

Las probetas deben tomarse de la sección de mayor diámetro del eje en un plano de 200 mm^2 , perpendicular a la flecha F , en la mitad del radio en ejes macizos, o a mitad de distancia entre la superficie exterior e interior en ejes huecos, según se muestra en la figura 28.

Los ensayos deben realizarse de acuerdo con la Norma EN ISO 643.

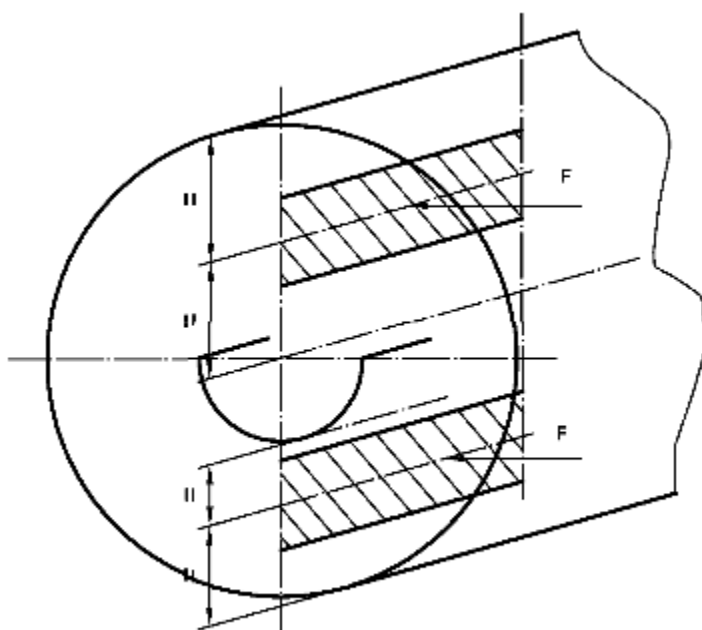
El nivel de limpieza debe medirse mediante un examen micrográfico, según se define en los apartados siguientes. Los valores máximos de inclusiones se dan en la tabla 22.

Tabla 22 – Valores máximos de inclusiones en serie fina y gruesa

Tipo de inclusiones	Categoría 1		Categoría 2	
	Serie gruesa (máximo)	Serie fina (máximo)	Serie gruesa (máximo)	Serie fina (máximo)
A (Sulfuros)	1,5	1,5	1,5	2
B (Aluminatos)	1	1,5	1,5	2
C (Silicatos)	1	1,5	1,5	2
D (Óxidos globulares)	1	1,5	1,5	2
B + C + D	2	3	3	4

El campo de examen se da en la figura 32.

El examen debe hacerse en un plano de 2000 mm², perpendicular a la flecha F, a la mitad del radio en ejes macizos, o a mitad de distancia entre la superficie exterior e interior en ejes huecos. Las probetas deben tomarse de la sección de mayor diámetro del eje.

**Figura 32 – Localización de la muestra para el examen micrográfico**

La determinación del nivel de limpieza debe llevarse a cabo de acuerdo con la Norma ISO 4967:1998, método A.

La integridad interior debe determinarse mediante un examen por ultrasonidos. Los defectos normales deben estar constituidos por agujeros de fondo plano a diferentes profundidades.

Los ejes no deben tener defectos internos cuyo eco sea igual o superior al de un defecto normal situado a la misma profundidad. El diámetro de este defecto normal debe ser de 3 mm. No se debe aceptar ninguna atenuación del eco de fondo superior a 4 dB debida a heterogeneidades o a defectos internos.

El examen debe hacerse en el propio eje después del tratamiento térmico y en condiciones de suministro antes de la aplicación de la protección final.

La integridad interior del eje se verifica mediante un examen diametral por ultrasonidos según el método Da de la Norma ISO 5948:1994. Se debe examinar el eje entero, excepto algunas partes (transiciones, canales, etc.), tras un acuerdo entre el cliente y el proveedor.

- Permeabilidad a ultrasonidos.

El eco obtenido en los ejes que se revisan debe tener una amplitud igual o superior al 50% de la altura total de la pantalla, después de una calibración preliminar del aparato sobre la cuña normal descrita en el anexo B de la normativa EN 13261. La altura del ruido de fondo debe ser menor que el 10% de la altura de la pantalla.

La probeta que se ha de examinar debe ser el eje, después de un tratamiento térmico completo.

En el momento de la inspección, el estado de los extremos de las manguetas debe ser el mismo que el requerido para el suministro sin protección.

El examen de permeabilidad a los ultrasonidos debe realizarse por inspección longitudinal del eje, según el método T de la Norma ISO 5948:1994.

Si los ensayos no se realizan mediante un proceso automático, la medición debe hacerse en un mínimo de seis puntos igualmente distribuidos alrededor de la sección de la mangueta del eje.

Las sondas utilizadas son de tipo piezoeléctrico, emisor y receptor, en cuarzo o titanato de bario BaTi de sección redonda o rectangular (entre 80 mm² y 450 mm²). Su frecuencia y la altura del eco obtenido delante del fondo plano de 1 mm de diámetro se describen en la tabla 23, para cada categoría de eje. El ruido producido durante la calibración no debe superar el 5% de la altura total de la pantalla.

Para este ensayo, el instrumento debe operar dentro de bandas de frecuencia estrechas, centradas sobre frecuencias nominales “Fn”, de modo que la banda esté entre $F_n - 20\%$ y $F_n + 20\%$, para una atenuación de 3 dB con relación a la señal de frecuencia Fn.

Tabla 23 - Calibración para el ensayo de permeabilidad

	Categoría 1	Categoría 2
Frecuencia F_n	5 MHz	de 2 MHz a 3 MHz
Condiciones de calibración (% de altura total de pantalla)	90%	40%

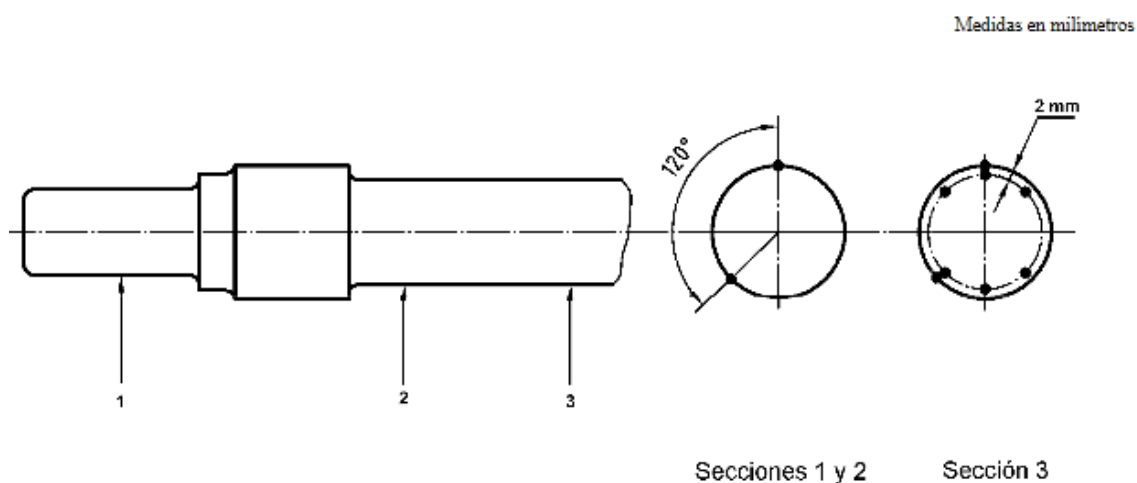
Para otros tipos de sondas, se requiere que el cliente y el proveedor lleguen a un acuerdo para definir la calibración y los resultados que se han de obtener.

- Tensiones residuales.

En la superficie del eje, las tensiones residuales deben ser menores o iguales que $+100 \text{ N/mm}^2$.

La diferencia entre los valores de tensión residual medidos en dos puntos distintos a 2 mm por debajo de la superficie debe ser 40 N/mm^2 .

La probeta debe ser el eje en condiciones de suministro. La localización de los puntos de medición se da en la figura 33.

**Figura 33 – Posición de los puntos de medición**

Las mediciones deben hacerse bien con extensómetros o bien por difracción de rayos X. El método debe ser acordado entre el cliente y el proveedor.

- Características de la superficie.

La superficie del eje no debe mostrar ninguna marca más que las estipuladas en esta norma.

La rugosidad de la superficie (R_a) de las partes acabadas o listas para montar se da en la tabla 24. Los símbolos son los definidos en la figura 34.

Tabla 24 - Acabado de la superficie

Designación	Símbolo (véase la figura 6)	Rugosidad de la superficie ^a Ra (μm)	
		Desbastado	Acabado o listo para montar
Extremo del eje	a Véanse los detalles R1 y R2	—	6,3
— extremo del eje y chaflán		—	3,2
— cara central del eje (eje macizo y hueco)			
Mangueta	b c (detalle V)	12,5	0,8
— diámetro de mangueta			0,8
— canales de descarga			
Obturador	d	12,5	1,6
— diámetro del obturador			
Zona de calado	e f (detalle U)	12,5	Mínimo 0,8 Máximo 1,6 ^c
— diámetro de la zona de calado			1,6
— entrada cónica			
Cuerpo	g (detalle T)	—	1,6
— radios de transición interior a la zona de calado			3,2 ^b
— diámetro del cuerpo del eje	h	12,5	Mínimo 0,8 Máximo 1,6 ^c
— diámetro de zona de calado de disco de freno y de rueda dentada			0,8
— diámetro de la zona de calado de rodamientos y cojinetes	j k (detalle S)	12,5	1,6
— radios de transición entre dos zonas de calado			
Perforación	m (detalle R1)		3,2 ^c
— diámetro interno de la perforación			

^a Para tipos antiguos de ejes con manguetas de cojinetes, los requisitos figuran en las normas que tratan sobre esos productos.

^b Se puede aceptar 6,3 si se obtienen los límites de fatiga F_1 o F_2 definidos en el apartado 3.2.3.2 y la sensibilidad requerida para el control por ultrasonidos en servicio.

^c Los Ensayos No Destructivos en servicio pueden requerir valores menores de acabado de superficie, por ejemplo, Ra 2 μm para la perforación.

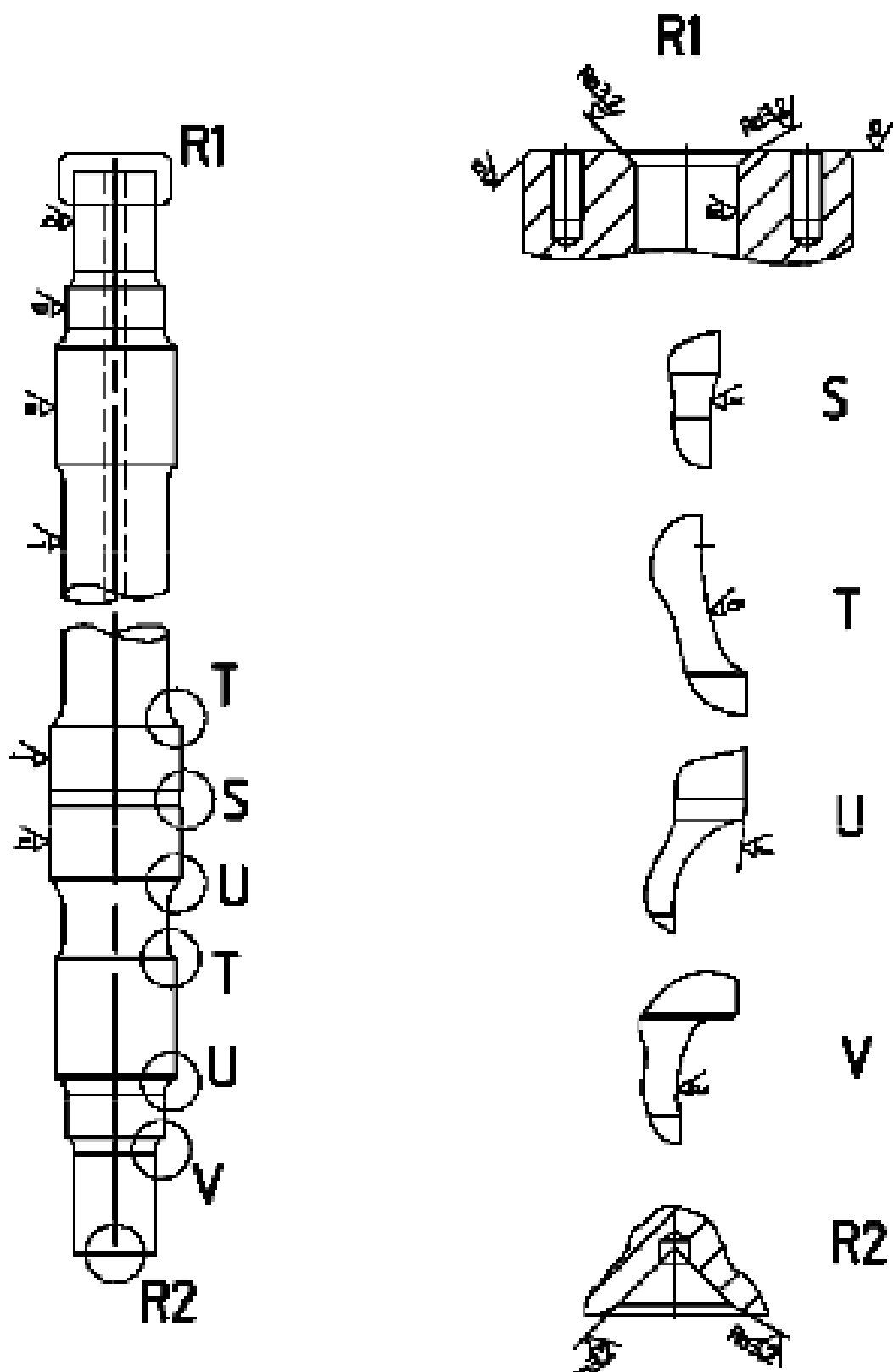


Figura 34 = Símbolos para el acabado de la superficie

La rugosidad media de las superficies de los ejes (R_a) en sus condiciones de suministro, dada en la tabla 24, debe medirse con un aparato específico. En los radios de transición, la rugosidad puede evaluarse por comparación con muestras táctiles y visuales convenidas entre el cliente y el proveedor.

La integridad de la superficie de los ejes debe determinarse, en las superficies exteriores, mediante un ensayo por partículas magnéticas y, en la superficie interior de ejes huecos, mediante un examen por ultrasonidos o un método equivalente convenido entre el cliente y el proveedor.

En la superficie exterior del eje:

- No se permite ningún defecto transversal;
- Se aceptan defectos longitudinales fuera de las zonas z 0 (véase la figura 31), a condición de que estén dentro de los límites dados en la tabla 25 (véase también J.7 del anexo de la normativa EN 13261).

Un defecto debe considerarse longitudinal si su inclinación respecto al eje central del eje es inferior a 10°.

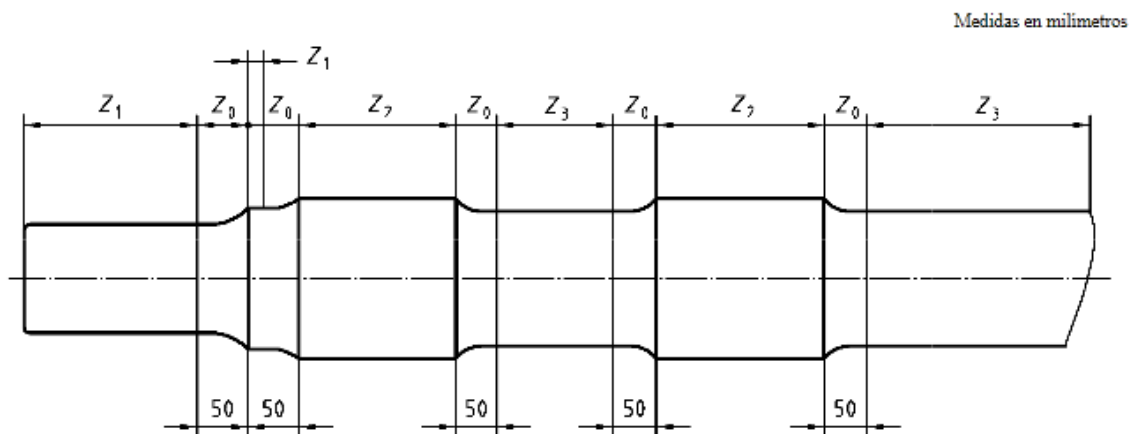


Figura 35 - Zonas

En la superficie interior de los ejes huecos, los defectos transversales se permiten si no tienen más de 0,5 mm de profundidad y si no hay más de uno por cada metro de longitud del eje.

Tabla 25 – Límites de defectos longitudinales

Zonas	Categoría 1		Categoría 2	
	Longitud máxima de un defecto aislado ^a	Longitud acumulada máxima de defectos aislados	Longitud máxima de un defecto aislado ^a	Longitud acumulada máxima de defectos aislados
z_0	0	0	0	0
z_1	$\leq 6 \text{ mm}$	$\leq 6 \text{ mm}$	$\leq 6 \text{ mm}$	$\leq 6 \text{ mm}$
z_2	$\leq 6 \text{ mm}$	$\leq 15 \text{ mm}$	$\leq 6 \text{ mm}$	$\leq 15 \text{ mm}$
z_3	$\leq 6 \text{ mm}$	$\leq 15 \text{ mm}$	$\leq 10 \text{ mm}$	$\leq 30 \text{ mm}$

^a Los defectos se consideran aislados cuando el espacio entre dos de ellos, situados en la misma generatriz, sea mayor de 10 mm.

La probeta debe ser el propio eje, después de haber sufrido el tratamiento térmico, en las condiciones de acabado definidas en el pedido y antes de habersele aplicado la protección.

Superficie exterior del eje.

Las condiciones generales del ensayo por partículas magnéticas se dan en la Norma ISO 6933, excepto para:

- el flujo magnético en superficie, que debe ser superior a 4 mT;
- la energía luminosa de luz ultravioleta, que debe ser superior a 15 W/m².

Los métodos de imantación son los descritos en la Norma ISO 6933:

- imantación circunferencial para la investigación de defectos longitudinales (véase la figura “a” de la Norma ISO 6933:1986);
- imantación axial para la investigación de defectos transversales (véase la figura “b” de la Norma ISO 6933:1986).

El cliente y el proveedor deben ponerse de acuerdo en cuanto al método. Salvo especificación en contra, se tiene que realizar un control por ultrasonidos a 45° desde la superficie exterior.

- Tolerancias geométricas.

Las tolerancias geométricas se dan en la tabla 26. Los símbolos utilizados se definen en la figura 36.

Las tolerancias dimensionales se dan en la tabla 27. Los símbolos utilizados se definen en la figura 37.

Tabla 26 – Tolerancias geométricas

Designación	Símbolo (véase la figura 8)	Tolerancias geométricas ^{a)} (mm)	
		Desbastado	Liso para montar
Mangueta y obturador	n		
Cilindricidad			0,015
Excéntrica de la cara vertical del obturador relativa a la referencia Y-Z			0,03
Excéntrica del obturador relativa a la referencia Y-Z			0,03
Zona de calado de rueda	p		
Excéntrica relativa a la referencia Y-Z ^{b)}		1,5	0,03
Cilindricidad		0,1	0,015
Zona de calado de corona	q		
Excéntrica relativa a la referencia Y-Z ^{b)}		1,5	0,03
Cilindricidad		0,1	0,015
Zonas de calado de rodamientos del puente motor	r		
Excéntrica relativa a la referencia Y-Z ^{b)}		1,5	0,02
Cilindricidad		0,1	0,015
Zona de calado de disco de freno	s		
Excéntrica relativa a la referencia Y-Z ^{b)}		0,15	0,03
Cilindricidad		0,1	0,015
Cuerpo del eje	t		
Excéntrica relativa a la referencia Y-Z ^{b)}			0,5 ^{d)}
Superficie interior	u		
Concentricidad relativa a la referencia Y-Z ^{b)}			0,5
Agujeros para fijar las tapas terminales del eje	v		
Concentricidad relativa a la referencia Y-Z ^{b)}			0,5
Excéntrica del agujero del centro relativa a la referencia Y-Z ^{b)}	w ₁		0,02
	w ₂ (detalles R1/R2)		0,03
^{a)} En los parámetros para los que no se dan tolerancias en esta tabla, se deben aplicar las tolerancias generales de la Norma EN 22769-2. ^{b)} Los requisitos de tipos antiguos de eje con manguetas de cojinetes figuran en las normas que tratan de estos productos. ^{c)} Eje de referencia: el eje de referencia es el eje común de las manguetas del eje identificado como Y-Z en la figura 8. ^{d)} 0,2 mm para ejes de categoría 1.			

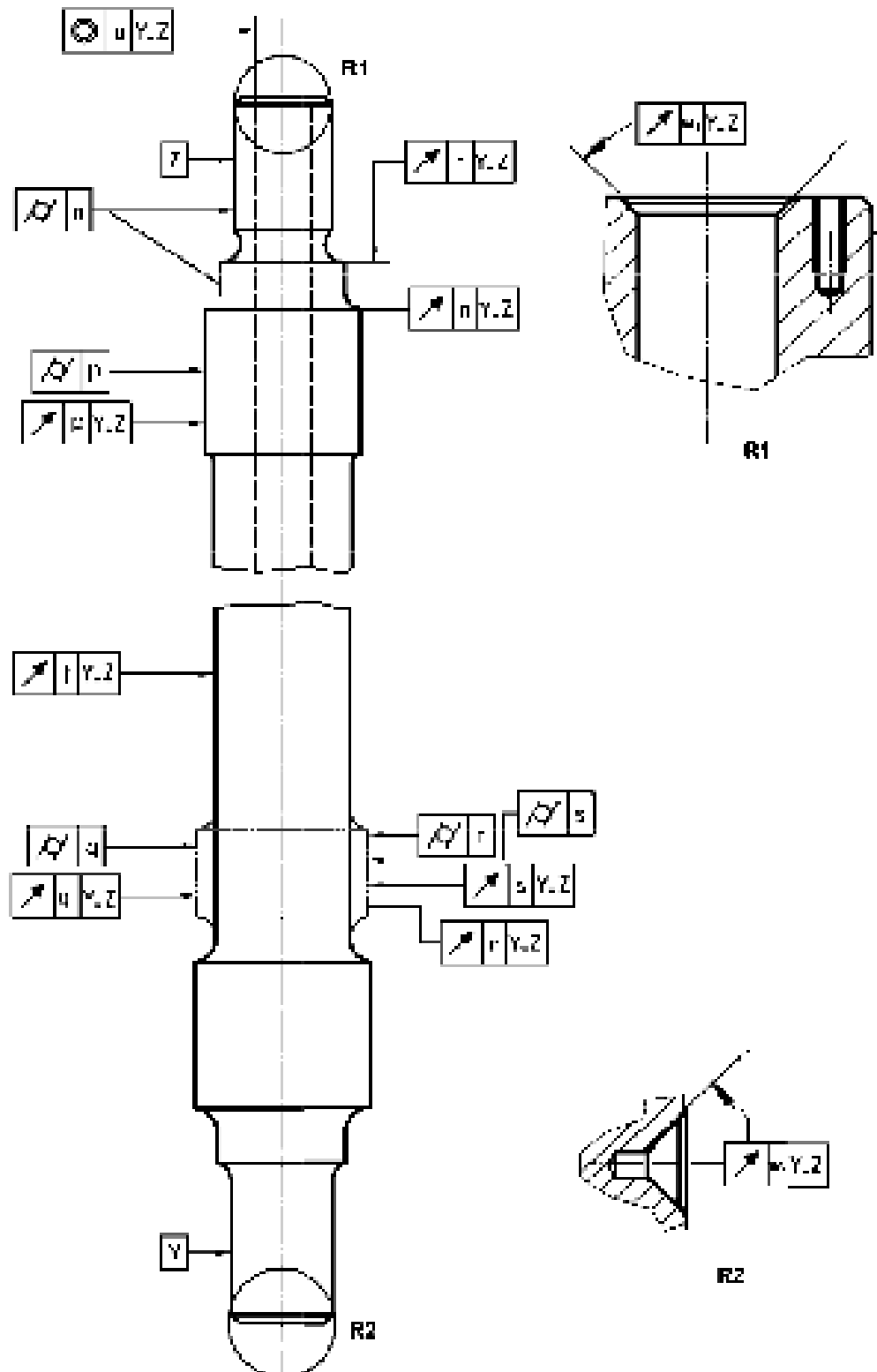
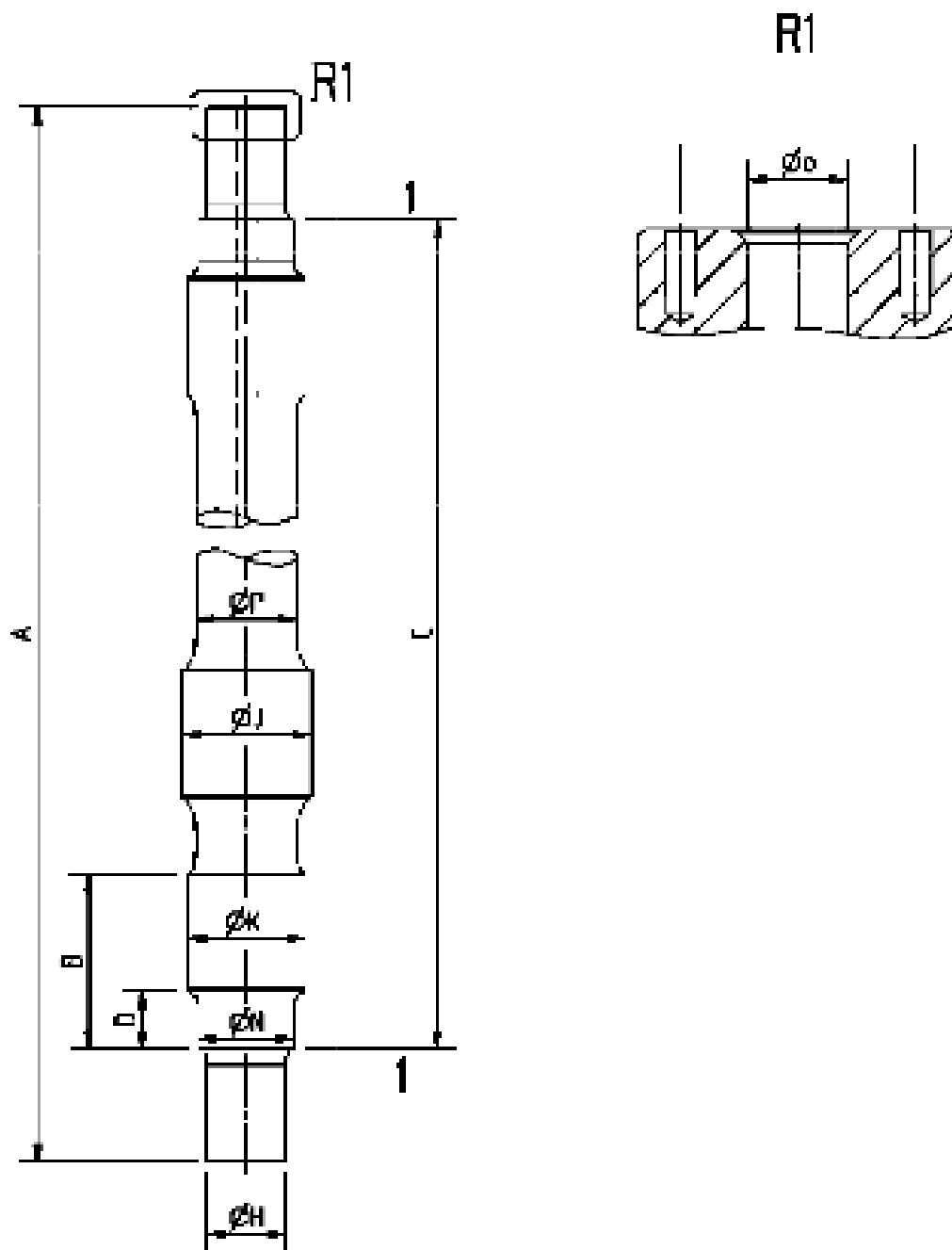


Figura 36 - Símbolos para las tolerancias geométricas:

Tabla 27 – Tolerancias dimensionales

Designación	Símbolo (véase la figura 9)	Tolerancias dimensionales ^a (mm)	
		Desbastado	Listo para montar
Dimensiones longitudinales			
– Longitud de eje ^b	A	+2/0	± 1
– Longitud de zona de calado de rueda (incluido el obturador)	B	+2/0	0/-0,5
– Longitud entre obturadores (entre planos de referencia)	C	+2/0	± 0,5 ^d
– Longitud de la zona de calado de rodamiento sobre la mangueta	D	0/-2	+1/0
Diámetros			
– Diámetro de mangueta	H	+2/0	^c
– Diámetro de zona de calado de rueda	K	+2/0	^c
– Diámetro de zonas de calado de corona, de disco de freno, de distanciador, de cojinetes o de rodamientos	J	+2/0	^c
– Diámetro del obturador	N	+2/0	± 0,25
– Diámetro del cuerpo	P	+4/0	+2/0
– Diámetro del agujero	O	–	± 1
^a En los parámetros para los que no se haya definido tolerancias en esta tabla, se deben aplicar las tolerancias generales de la Norma EN 22768-1.			
^b Hay que prestar atención al hecho de que la conformidad con las tolerancias sobre la longitud total “A” no permite que todas las tolerancias individuales se apliquen acumulativamente a las dimensiones concretas.			
^c Según los requisitos del dibujo o de los documentos que acompañen a la hoja de pedido.			
^d Se pueden proponer y definir otras geometrías en el pedido.			



Legenda:

1 Plano de referencia

Figura 37 – Símbolos para las tolerancias dimensionales

4.3.4. RESISTENCIA AL CHOQUE Y PROYECCIONES.

Después de haber realizado el ensayo definido en el siguiente apartado de método de ensayo, no debe encontrarse ningún agujero en el revestimiento ni debe haber ninguna alteración en la superficie de la probeta.

La probeta debe ser el eje o una sección del eje cubierta con el revestimiento a evaluar.

La probeta debe ensayarse disparando un proyectil sobre la superficie protegida, según el anexo C de la normativa EN 13261.

Después de haber realizado el ensayo definido en el próximo apartado de método de ensayo, la superficie del revestimiento debe cumplir:

- un nivel de pérdida de revestimiento 3 para la protección de las clases 1 y 2;
- un nivel de pérdida de revestimiento 4 para la protección de la clase 3.

Según se describe en el anexo D de la normativa EN 13261.

La probeta debe ser el eje o una sección del eje cubierta con el revestimiento a evaluar.

El método para valorar la resistencia a las proyecciones de gravilla se da en el anexo D de la normativa EN 13261.

4.3.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Los porcentajes máximos del contenido de los diferentes elementos se dan en la tabla 28.

Tabla 28 – Valores límite por análisis del producto (%)

C	Si	Mn	P ^a	S ^{ab}	Cr	Cu	Mo	Ni	V
0,40	0,50	1,20	0,020	0,020	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06
^a Se puede acordar un contenido máximo de 0,025% en el concurso y en el pedido. ^b Se puede acordar un contenido mínimo de azufre en el concurso y en el pedido según el proceso de elaboración del acero, para prevenir la fragilización por hidrógeno.									

La muestra de ensayo debe tomarse a la mitad del radio en los ejes macizos o a mitad de distancia entre las superficies interior y exterior en los ejes huecos.

Los análisis de composición química deben realizarse según los métodos y definiciones descritos en el Informe Técnico ISO/TR 9769.

4.3.6. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN.

Se definen cuatro clases de protecciones, según el empleo del eje y de la política de mantenimiento del mismo:

- Clase 1: ejes expuestos a corrosión atmosférica y a choques mecánicos;
- Clase 2: ejes expuestos a la acción de determinados productos corrosivos;
- Clase 3: ejes expuestos a corrosión atmosférica;
- Clase 4: ejes expuestos a corrosión atmosférica cuando las tensiones calculadas según las Normas EN 13103 y EN 13104 sean inferiores al 60% de las tensiones límite;
- Se permiten clases diferentes en el mismo eje.

La elección de una de estas cuatro clases debe definirse en la hoja de pedido, salvo especificación en contra. Algunas zonas de un eje protegido por un revestimiento de clase 1 o de clase 3 pueden requerir una protección de clase 2.

Los revestimientos protectores de cada clase se definen, como mínimo, por las características dadas en la tabla 29. Se pueden especificar otras características en la hoja de pedido según las condiciones de utilización de los ejes. Los ensayos deben realizarse varios días después de la aplicación del revestimiento, dependiendo del sistema de pintura y de las recomendaciones del proveedor de la pintura. En ausencia de información, se puede adoptar un periodo de 14 días después de la aplicación del revestimiento.

La superficie interior de ejes huecos debe protegerse contra la corrosión usando un producto cuyas propiedades especifiquen el cliente y el proveedor.

Tabla 29 – Revestimientos protectores

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Espesor del revestimiento	X	X	X	–
Adherencia del revestimiento	X	X	X	–
Resistencia al choque	X	–	–	–
Resistencia a la proyección de gravilla	X	X	X	–
Resistencia a la niebla salina	X	X	X	–
Resistencia a determinados productos corrosivos	–	X	–	–
Resistencia del revestimiento a tensiones mecánicas cíclicas	X	X	X	–

NOTA: Debería prestarse una atención particular al impacto medioambiental del sistema de pintura utilizado. A fin de evitar la emisión de componentes orgánicos volátiles (COV), las pinturas acuosas son recomendadas. En este caso, la preparación de la superficie y los requisitos específicos de aplicación debería definirlos el fabricante y el proveedor para cumplir los requisitos de esta norma.

Salvo que en la hoja de pedido haya especificaciones especiales, el espesor mínimo del revestimiento debe ser aquél que fue registrado y considerado satisfactorio durante la calificación del producto “eje”.

La probeta debe ser el eje cubierto por su revestimiento.

Las mediciones deben efectuarse según el método 6 Ba de la Norma EN ISO 2808:2007, siempre que lo permita el espesor del revestimiento. Si no, el cliente y el proveedor deben decidir cuál utilizar.

- Adherencia del revestimiento.

Para un revestimiento con un espesor máximo de 250 μm , su aspecto debe corresponderse con el de la clasificación 1 de la Norma EN ISO 2409:2007, después de hacer incisiones y ensayos de arranque del revestimiento.

Para espesores superiores a 250 μm , la característica de adherencia debe acordarse entre el cliente y el proveedor.

La probeta debe ser el eje o una sección del eje cubierta por el revestimiento que se ha de evaluar.

Para un revestimiento con un espesor máximo de 250 μm , el método de ensayo debe ser el recomendado en la Norma EN ISO 2409.

Para espesores superiores a 250 μm , la Norma EN ISO 2409 no puede aplicarse, por lo tanto el método de ensayo debe acordarse entre el cliente y el proveedor.

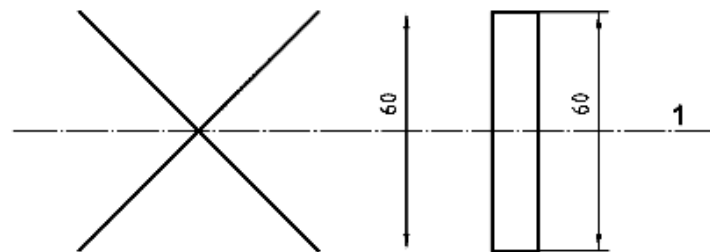
- Resistencia a la niebla salina.

Después de haber realizado el ensayo definido en el apartado siguiente sobre método de ensayo, no debe encontrarse corrosión alguna ni bajo el revestimiento ni a una distancia de más de 2 mm desde los bordes o desde las incisiones practicadas en el revestimiento.

La longitud de la incisión se divide en secciones sucesivas de 10 mm. Hay que registrar la anchura máxima de la corrosión en cada una de estas secciones. La media de estos valores constituye el esponjamiento por corrosión.

La probeta debe ser una sección del eje cubierta con el revestimiento a evaluar en el que se hayan hecho incisiones en forma de cruz (para espesores de revestimiento 250 μm) o una abertura (para espesores de revestimiento > 250 μm) (véase la figura 38).

Medidas en milímetros



Leyenda

1 generatriz

Figura 38 – Probetas para el ensayo de niebla salina

La evaluación de la resistencia a la niebla salina se debe efectuar según la Norma EN ISO 9227:2006; la solución utilizada es la del ensayo NSS de dicha norma.

- Resistencia a determinados productos corrosivos.

Después de haber realizado el ensayo definido en el apartado a continuación sobre método de ensayo, no debe encontrarse alteración alguna ni en el revestimiento ni en la superficie. Además, un ensayo de adherencia llevado a cabo conforme a la Norma EN ISO 2409 debe permitir que este revestimiento se clasifique también como clase 1.

La probeta debe ser una sección del eje cubierta con el revestimiento que se ha de evaluar.

La resistencia a determinados productos químicos se determina mediante un ensayo repetido inmersión-emersión. Este ensayo se describe en el anexo E de la normativa EN 13261. Debe ir seguido del ensayo de adherencia definido en la Norma EN ISO 2409, realizado 24 h después de finalizar la fase de ensayo de corrosión.

4.3.7. RESISTENCIA DEL REVESTIMIENTO.

- Resistencia del revestimiento a tensiones mecánicas cíclicas.

En las condiciones del ensayo definidas en el apartado de método de ensayo siguiente.

- Se debe alcanzar el nivel 5 con revestimientos de las clases 1 y 3,
- Se debe alcanzar el nivel 10 con revestimientos de clase 2.

La probeta de flexión rotativa (con un diámetro de 8,5 mm en su parte activa) debe hacerse con acero de grado EA1N, protegido con el revestimiento que se ha de evaluar.

En el anexo H de la normativa EN 13261 se da un ejemplo de dibujo de la probeta.

El método de ensayo y sus condiciones se definen en el anexo F de la normativa EN 13261.

- Protección temporal.

Las características de la protección tienen que ser convenidas entre el cliente y el proveedor de acuerdo con las condiciones de transporte y almacenamiento (manipulación, ambiente, etc.).

Esta protección debe continuar siendo efectiva durante al menos tres meses en condiciones atmosféricas normales, salvo especificación en contra.

5. PRESUPUESTO.

El coste de desarrollo del presente proyecto se muestra desglosado en términos generales a continuación.

Coste de búsqueda, documentación y gestión de información

210 horas x 30 ,00€/hora (i.v.a. incluido) 6.300,00 €

P.V.P. de las normativas (i.v.a. incluido) 955,00 €

Coste de análisis y estudio llevado a cabo

125 horas x 30 ,00€/hora (i.v.a. incluido) 3.750,00 €

Coste de realización del documento a entregar

80 horas x 30,00€/hora (i.v.a. incluido) 2.400,00 €

TOTAL

13.405,00 €

“El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad final de TRECEMIL CUATROCIENTOS CINCO EUROS (€).

Leganés a 20 de Octubre de 2011

El Ingeniero Projectista



Fdo. Daniel Braojos Frades.



6. CONCLUSIONES.

Como conclusión principal del proyecto se puede comprobar que se cumple el objetivo principal del mismo, además de todos los subobjetivos declarados. Por tanto se ha conseguido realizar una correcta compilación de la normativa vigente utilizada en el diseño y el montaje de estos elementos mecánicos, de tal manera que compacte y facilite el acceso a la información o documentación necesaria. Este objetivo se ve potenciado por la notable reducción del volumen de información a utilizar.

Además se consigue gracias a este análisis asimilar el proceso que debe seguirse para fabricar elementos de similares características como cualquier pieza mecánica, diferenciando entre normativa de diseño, normativa de características de material y normativa de montaje.

Un importante detalle a observar tras realizar este análisis es que se necesitan diversas normativas, dispares entre sí en algunos casos, para cumplimentar al 100% el proceso legal que se debe realizar, por lo que parece necesario realizar un estudio de esta índole para facilitar el desarrollo del proceso abarcado en el proyecto.

7. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

EN 13103 *Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes portadores. Método de diseño.*

EN 13104 *Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes motores. Método de diseño.*

EN 13261 *Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes. Requisitos de producto.* EN

EN 13262 *Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ruedas. Requisito de producto.*

EN 10002-1 *Materiales metálicos. Ensayos de tracción. Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente.*

EN 10045-1 *Materiales metálicos. Ensayo de flexión por choque sobre probeta Charpy. Parte 1: Método de ensayo.*

EN 20898-2:1993 *Características mecánicas de los elementos de fijación. Parte 2: Tuercas con valores de carga de prueba especificados. Rosca de paso grueso. (ISO 898-2:1992).*

EN 22768-1 *Tolerancias generales. Parte 1: Tolerancias para cotas dimensionales lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia. (ISO 2768-1:1989).*

EN 22768-2 *Tolerancias generales. Parte 2: Tolerancias para cotas geométricas sin indicación individual de tolerancia. (ISO 2768-2:1989).*

EN ISO 643:2003 *Acero. Determinación micrográfica del tamaño de grano aparente. (ISO 643:2003).*

EN ISO 2409:2007 *Pinturas y barnices. Ensayo de corte por enrejado. (ISO 2409:2007).*

EN ISO 2808:2007 *Pinturas y barnices. Determinación del espesor de película. (ISO 2808:2007).*

EN ISO 9227:2006 *Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina. (ISO 9227:2006).*

EN ISO 14284:2002 *Acero y hierro. Muestreo y preparación de muestras para determinar la composición química. (ISO 14284:1996).*

ISO 4967:1998 *Aceros. Determinación del contenido de inclusiones no metálicas. Método microográfico con ayuda de imágenes tipo.*

ISO 5948:1994 *Material rodante ferroviario. Ensayo de aceptación por ultrasonidos.*



ISO 6933:1986 *Material rodante ferroviario. Ensayo de aceptación por partículas magnéticas.*

ISO/TR 9769. *Acero y hierro. Revisión de los métodos de análisis disponibles.*

NF EN ISO 12737. *Materiales mecánicos. Determinación del factor de intensidad de tensión crítica.*

- [0] El rodaje en el ferrocarril, ejes (1). Autor: Julio Álvarez Rodríguez.
- [1] El rodaje en el ferrocarril, ejes (2). Autor: Julio Álvarez Rodríguez.
- [2] La política ferroviaria de la Unión Europea. Autor: Jesús Calvo Soria.
- [3] El transporte: Aspectos y tipología. Autores: B. Cendrero y S. Truysols.
- [4] Diccionario de tecnología ferroviaria. Autor: Mario León.

<http://www.tecnorail.com>.

http://www.porticolegal.com/pa_ley.php?ref=18563.

<http://www.unife.org/>.

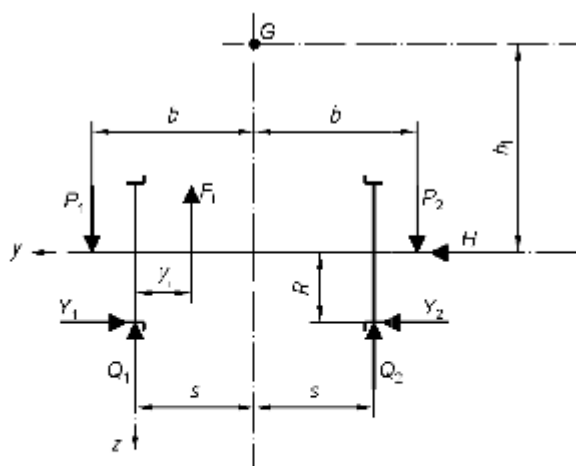
<http://www.aenor.es/aenor/inicio/home/home.asp>.

<http://www.instron.com.es/wa/solutions/EN-10002-1-Tensile-Testing-Metallic-Materials.aspx>.

<http://www.boe.es/>.

ANEXO A (Informativo)**MODELO DE LA HOJA DE CÁLCULO PARA UN EJE.**

$$Q_1 = \frac{1}{2s} [P_1(b+s) - P_2(b-s) + (Y_1 - Y_2)R - \sum_i F_i(2s - y_i)]$$



Leyenda

G Centro de gravedad del vehículo

Figura A.1

y_i (mm)	F_i (N)	Parte

Tipo de freno		
P' (N)		
F_f (N)		
Γ		

1) para ejes huecos:

en la superficie exterior: $\frac{32K10^6 d}{\pi(d^4 - d'^4)}$ en la superficie interior: $\frac{32K10^6 d'}{\pi(d^4 - d'^4)}$

Sección	y mm	d mm	d' mm	D mm	r mm	$\frac{r}{d}$	$\frac{D}{d}$	K	¹⁾ $\frac{32K10^6}{\pi d^3}$	M_x (Nmm) $\times 10^{-6}$	M'_x (Nmm) $\times 10^{-6}$	M'_z (Nmm) $\times 10^{-6}$	M'_y (Nmm) $\times 10^{-6}$	M (Nmm) $\times 10^{-6}$	σ (N/mm ²)	$\sigma_{\text{máx.}}$ (N/mm ²)

ANEXO B (Informativo)**PROCESO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CARGA PARA VEHÍCULOS PENDULARES.**

De acuerdo con la tabla 3 de la correspondiente normativa, $H = 0,175 m_1g$ o $H = 0,15 m_1g$.

En términos generales, $H = \beta m_1g$ si el factor $\beta = 0,175$ o, respectivamente, 0,15, incluye un porcentaje de fuerza centrífuga cuasi-estática, debido al desequilibrio de la aceleración transversal a_q y al factor de empuje f_q .

La aceleración transversal habitual de $a = 1,0 m/s^2$ q debida a una insuficiencia de peralte produce un factor de fuerza transversal de 0,1 (g, redondeado hasta $10 m/s^2$) para tener en cuenta la fuerza centrífuga cuasi-estática.

En los estudios del grupo ORE B 136, para la aceleración transversal debida a la insuficiencia de peralte, DB aplicó un valor $a_q = 1,0 m/s^2$ y SNCF, $a_q = 1,3 m/s^2$.

El resultado de estos ensayos permitió establecer un valor derivado de:

- Ejes guías $f_q = 0,075$;
- Ejes guía $f_q = 0,05$.

El siguiente caso es un ejemplo para los vehículos equipados con dispositivos de compensación de insuficiencia de peralte (sistema pendular).

El vehículo de grandes líneas se diseñará para una aceleración transversal no compensada de $a = 2,0 m/s^2$ q debida a una insuficiencia de peralte. Los coeficientes resultantes son los siguientes:

- Ejes guía $\beta = a_q / 10 + f_q = 0,2 + 0,075 = 0,275$;
- Ejes no guía $\beta = a_q / 10 + f_q = 0,2 + 0,05 = 0,25$.

Puesto que $Y_2 = 0,175 m_1g$ o, respectivamente, $Y_2 = 0,15 m_1g$ (ya que Y_2 tiene en cuenta el rozamiento transversal sobre la rueda interior en la curva), es posible deducir de la igualdad $Y_1 = Y_2 + H$ que:

- Ejes guía $Y = 0,45 m_1g$;
- Ejes no guía $Y = 0,40 m_1g$.

NOTA La parte dinámica del factor β en la fórmula es la misma para vehículos pendulares y no pendulares. No obstante, el factor dinámico varía en función de la velocidad y de la calidad de la vía.

Las siguientes fórmulas (véase la tabla B.1) para el cálculo de fuerzas resultarán ser:

Tabla B.1

Para todos los ejes, excepto los ejes guía ² para ancho de vía normal y para vehículos con compensación de insuficiencia de peralte (sistema pendular)	$P_1 = (0,625 + 0,25 h_1/2b) m_1g$ $P_2 = (0,625 - 0,25 h_1/2b) m_1g$ $Y_1 = Y_2 + H = 0,4 m_1g$ $Y_2 = 0,15 m_1g$ $H = 0,25 m_1g$
Para todos los ejes guía ²	$P_1 = (0,625 + 0,275 h_1/2b) m_1g$ $P_2 = (0,625 - 0,275 h_1/2b) m_1g$ $Y_1 = Y_2 + H = 0,45 m_1g$ $Y_2 = 0,175 m_1g$ $H = 0,275 m_1g$
Para todos los ejes	$Q_1 = \frac{1}{2s} [P_1(b+s) - P_2(b-s) + (y_1 - y_2)R - \sum_i F_i(2s - y_i)]$ $Q_2 = \frac{1}{2s} [P_2(b+s) - P_1(b-s) - (y_1 - y_2)R - \sum_i F_i y_i]$
² El eje guía es el eje del primer bogie de un coche (es decir, el conductor), utilizado en cabeza de una unidad de tren reversible. Si un eje puede utilizarse en ambas posiciones (guía o no guía), se le considera un eje guía.	

ANEXO C (Informativo)**VALORES DE LAS FUERZAS A TOMAR EN CONSIDERACIÓN PARA LOS EJES MONTADOS EN VÍAS DE ANCHO REDUCIDO (MÉTRICO O CERCANO AL METRO).**

Las siguientes fórmulas (véase la tabla C.1) son aplicables para el cálculo de fuerzas, salvo en el caso de vehículos pendulares.

Tabla C.1

Para todos los ejes, excepto los ejes guía ^a	$P_1 = (0,65 + 0,0975 \, h_1 / b) \, m_1 g$ $P_2 = (0,65 - 0,0975 \, h_1 / b) \, m_1 g$ $Y_1 = 0,35 \, m_1 g$ $Y_2 = 0,15 \, m_1 g$ $H = Y_1 - Y_2 = 0,20 \, m_1 g$
Para todos los ejes guía ^a	$P_1 = (0,65 + 0,114 \, h_1 / b) \, m_1 g$ $P_2 = (0,65 - 0,114 \, h_1 / b) \, m_1 g$ $Y_1 = 0,40 \, m_1 g$ $Y_2 = 0,175 \, m_1 g$ $H = Y_1 - Y_2 = 0,225 \, m_1 g$
Para todos los ejes	$Q_1 = \frac{1}{2s} [P_1 (b+s) - P_2 (b-s) + (Y_1 - Y_2) R - \sum_i F_i (2s - y_i)]$ $Q_2 = \frac{1}{2s} [P_2 (b+s) - P_1 (b-s) - (Y_1 - Y_2) R - \sum_i F_i y_i]$
^a Un eje guía es el primer eje de una unidad tractora o el primer eje de un vehículo de transporte de viajeros en un tren reversible, en el sentido de la marcha. Si un eje puede utilizarse en ambas posiciones (guía o no guía), se le considera como un eje guía.	

ANEXO D (Normativo)**MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE FATIGA A TAMAÑO REAL PARA NUEVOS MATERIALES.****D.1 Campo de aplicación.**

Este anexo describe los requisitos exigidos y el procedimiento necesario para caracterizar los límites de fatiga en ejes de tamaño real para calidades de acero no especificadas en las Normas EN 13260 y EN 13261. Este procedimiento permite comparar resultados de diferentes laboratorios.

Los límites de fatiga obtenidos se utilizan para determinar los esfuerzos admisibles para el diseño de los ejes, de conformidad con el procedimiento descrito en esta norma y en la Norma EN 13104.

D.2 Requisitos generales para las probetas de ensayo.

Las probetas de ensayo tienen que cumplir los requisitos de las normas EN pertinentes (geometría, rugosidad, propiedades mecánicas, etc.). Todos estos parámetros deben verificarse en una tabla-resumen. Las probetas de ensayo utilizadas deben ser representativas de los ejes de fabricación normal y utilizar el mismo método de fabricación (calidad del material, calidad de acabado de la superficie, factor de reducción, ensayos no destructivos, etc.). No obstante, pueden configurarse de forma específica para el ensayo.

D.3 Requisitos generales para los equipos de ensayo.

El banco de ensayo empleado debe permitir que se aplique sobre la sección ensayada un momento de flexión rotativa con una amplitud de esfuerzo constante. La figura D.1 muestra una configuración típica. Durante el ensayo, un control constante de las mediciones pertinentes debe permitir que las amplitudes de esfuerzo nominal aplicadas permanezcan constantes en un rango de ± 5 MPa.

El método principal de control del banco de ensayo se basa en la carga, el esfuerzo y el movimiento aplicados; para este parámetro, se recomienda verificar la incertidumbre para garantizar que no se sobrepasa el error máximo aceptado para el esfuerzo nominal aplicado.

NOTA Si se utilizan un banco de ensayo y una probeta de ensayos simétricos, es posible considerar que dos secciones han sido ensayadas (si se verifican de manera correcta durante el ensayo).

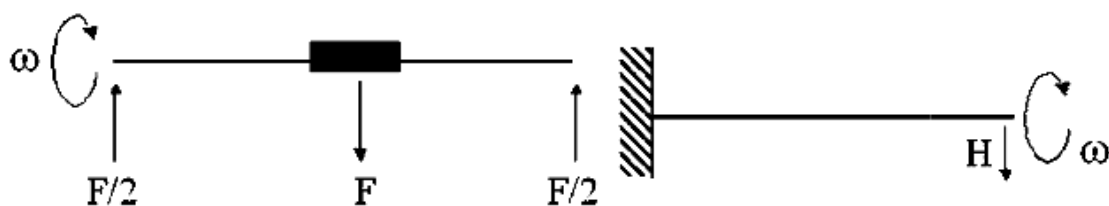


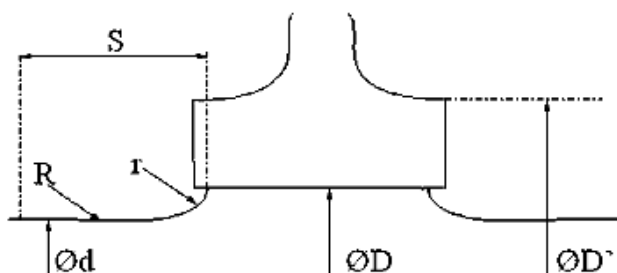
Figura D.1 – Ejemplos de configuraciones de ensayo

D.4 Límite de fatiga del cuerpo del eje ("F1").

D.4.1 Geometría.

Las dimensiones de las probetas de ensayo deben ser similares a las dimensiones de los ejes obtenidas en condiciones normales; la figura D.2 establece las medidas mínimas.

R	75
r	15
S	≥ 35
D/d	$\geq 1,15$
d	≥ 150
D	≤ 200
Rugosidad zona calado	0,8 – 1,6
Rugosidad cuerpo R_a	0,8 – 3,2
D'/d	1,3 – 1,5



Leyenda

d	diámetro del cuerpo
D	diámetro de la zona de calado de la rueda
D'	diámetro del cubo
R y r	radios de transición cuerpo – zona de calado
S	longitud de la curva de transición

Figura D.2 – Geometría de la probeta de ensayo

NOTA Una relación de diámetros (D/d) demasiado pequeña produciría fisuras en la zona de calado; el valor para el cual no se producirían fisuras en la zona de calado sino en el cuerpo depende de la resistencia a la fatiga del acero del eje (cuanto mayor es la resistencia a la fatiga F1, mayor es la relación de diámetros).

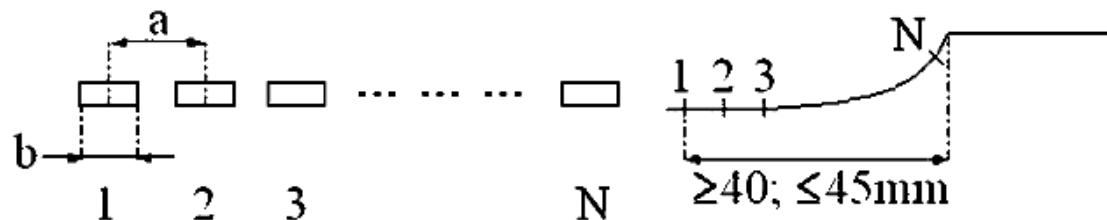
El espesor del cubo y el apriete entre el cubo y la zona de calado determinarán la concentración de esfuerzos adicionales en la base de la curva de transición del cuerpo del eje. Por lo tanto, los diámetros de transición deberían ser similares a las configuraciones típicas.

D.4.2 Verificación del esfuerzo aplicado

Con independencia del tipo de banco de ensayo, el esfuerzo máximo aplicado debe verificarse de forma experimental con respecto del valor máximo y de la posición longitudinal del valor máximo.

Los valores de esfuerzo aplicado deben medirse con galgas extensométricas (de deformación) en la zona de aparición de las primeras fisuras causadas por la fatiga.

Para realizar estas mediciones, se colocan galgas extensométricas a lo largo de la curva de transición con la zona de calado del eje que soporta el máximo valor de esfuerzo (véase la figura D.3). Se recomienda que la distancia entre las galgas extensométricas no sobrepase 4 mm y que la longitud de la galga no sea superior a 3 mm.



Leyenda

- 1, 2, 3, ..., N galgas extensométricas
- a distancia entre dos galgas
- b longitud de galga

Figura D.3 – Instrumentación de galgas extensométricas

A fin de ser coherente con el método de diseño del eje (Normas EN 13103 y EN 13104), el esfuerzo se determina partiendo de la hipótesis que el esfuerzo es monoaxial:

$$\sigma_{\text{real}} = E \cdot \varepsilon$$

Para la forma del eje ensayado, debe determinarse el factor adicional de esfuerzo estático: $k_t = (\sigma_{\text{real}}) / \sigma_{\text{nom}}$

σ_{nom} es el esfuerzo nominal para la sección en la que el esfuerzo real medido es máximo. Se puede determinar bien por el método de diseño del eje basado en la teoría de vigas, si se mide la fuerza aplicada, o bien por extrapolación de las mediciones de las galgas extensométricas en dos secciones del eje donde los esfuerzos longitudinales varían de forma lineal.

El límite de fatiga se determina tanto por los esfuerzos realmente medidos como por el esfuerzo nominal que depende sólo de la geometría del eje (D , d , r).

D.4.3 Criterio de finalización de ensayo.

Para cada límite, debe verificarse que no aparece ninguna fisura después de 10^7 ciclos con una carga que crea un esfuerzo en superficie equivalente a los valores de ensayo.

D.4.4 Determinación del límite de fatiga.

El método estadístico de aplicación para determinar el límite de fatiga se denomina el método STAIR CASE.

Se recomienda que el número de ejes ensayados sea de 15, provenientes de al menos tres coladas distintas.

El intervalo de esfuerzo es 10 MPa.

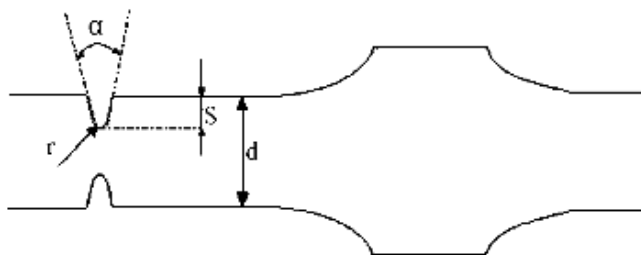
Debe calcularse la probabilidad de no aparición de fisuras e indicarlo en el informe de ensayo. Para todos los casos, este valor debería ser comparable con los valores utilizados para los materiales usuales.

D.5 Límite de fatiga del hueco del eje ("FF2").

D.5.1 Geometría.

Se realiza una entalla en el eje utilizado en el ensayo para reproducir el peor de los arañazos que pueden producirse durante el mandrinado. Se perfila la entalla en el cuerpo exterior con una herramienta especial de corte según los parámetros geométricos detallados en la figura D.4.

d	≤ 140
α	30°
S	1
r	0,04



Leyenda

- α ángulo de la entalla
- S profundidad de la entalla
- R radio en el fondo de la entalla
- D diámetro de la probeta

Figura D.4 – Geometría de la probeta

D.5.2 Verificación del esfuerzo aplicado.

El esfuerzo que tiene que considerarse es el esfuerzo nominal (σ_{nom}) en la sección en la que se sitúa la entalla.

El esfuerzo debe determinarse de forma experimental sobre el eje bien por el método de diseño del eje basado en la teoría de vigas, si se mide la fuerza aplicada, o bien por extrapolación de las mediciones de las galgas extensométricas en los dos lados de la entalla donde los esfuerzos longitudinales varían de forma lineal.

D.5.3 Criterio de finalización de ensayo.

Para cada límite, debe verificarse que no aparece ninguna fisura después de 10^7 ciclos con una carga que crea un esfuerzo en superficie igual a los valores del ensayo.

D.5.4 Determinación del límite de fatiga.

El método estadístico de aplicación para determinar el límite de fatiga se denomina el método STAIR CASE.

Se recomienda que el número de ejes ensayados sea de 15, procedentes de al menos tres coladas distintas.

El intervalo de esfuerzo es 10 MPa.

Debe calcularse la probabilidad de no aparición de defecto e indicarlo en el informe de ensayo. Para todos los casos, este valor debería ser comparable con los valores aplicables a materiales usuales.

D.6 Límite de fatiga de la zona de calado ("F3" y "F4").

D.6.1 Geometría.

F3 es de aplicación para ejes macizos (sin hueco) y F4, para ejes huecos.

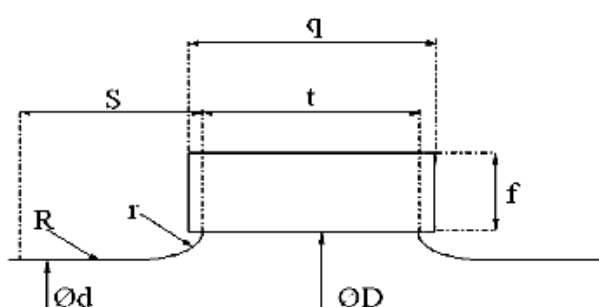
Las dimensiones de la probeta de ensayo deben ser similares a las dimensiones de los ejes fabricados normalmente. La figura D.5 detalla el rango de dimensiones.

El límite de fatiga real de las zonas de calado en el eje depende de distintos parámetros geométricos y, en particular, de la relación de diámetros D/d : para un esfuerzo nominal determinado aplicado en el extremo de la zona de calado, el incremento de la relación de diámetros reduce el esfuerzo longitudinal real aplicado en el extremo de la zona de calado.

Por lo tanto, el límite de fatiga nominal también aumenta. Por encima de un valor determinado de la relación de diámetros, las fisuras aparecen en el cuerpo y no en la zona de calado (véase la figura D.6).

Para tener una visión global de los límites de fatiga F3 y F4, puede resultar de utilidad llevar a cabo ensayos con distintas relaciones de diámetros (al menos tres). Al extrapolar estos valores y al conocer el límite de fatiga del cuerpo F1, puede determinarse el valor crítico de la relación D/d por encima del cual se producen fisuras en el cuerpo y por debajo del cual aparecen en la zona de calado. Se trata de información importante para el diseño de los ejes fabricados con nuevos materiales para garantizar que las fisuras pueden aparecer en el cuerpo y no en la zona de calado donde es más difícil detectarlas con el examen por ultrasonidos.

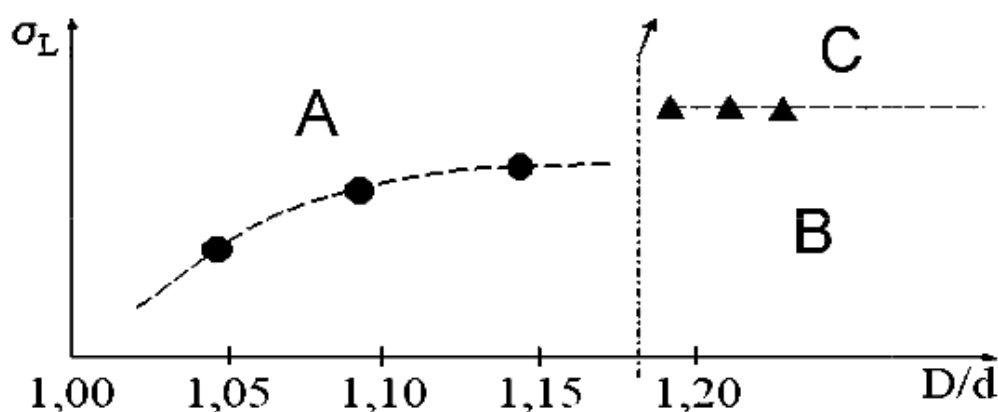
R	75
r	15
S	≈ 35
D/d	Relación: 1,05:1,10:1,15...
d	≈ 140
D	≤ 200
Rugosidad zona calado R_a	0,8 - 1,6
Rugosidad del cuerpo	0,8 - 3,2
Montaje	H7 y6 Calado a presión o en caliente
f Espesor del anillo	> 20
t	165
q	170



Leyenda

- f espesor del anillo
 t longitud de la zona de calado
 q longitud del anillo

Figura D.5 – Parámetros geométricos para F3 y F4



Leyenda

- A fisuras en la zona de calado de rueda
 B fisuras en el cuerpo
 C (D/d) opcional

Figura D.6 – Influencia de la relación de diámetros D/d

D.6.2 Verificación del esfuerzo aplicado.

A fin de conservar la coherencia con el método de diseño del eje, el esfuerzo considerado es el esfuerzo nominal σ_{nom} a 10 mm del extremo final de la zona de calado.

El esfuerzo debe determinarse de forma experimental sobre el eje estudiado bien por el método de diseño del eje basado en la teoría de vigas, si se mide la fuerza aplicada, o bien por extrapolación de las mediciones de las galgas extensométricas en los dos lados de la entalla donde los esfuerzos longitudinales varían de forma lineal.

Para determinar el nivel de esfuerzo, debe emplearse la dimensión realmente medida para la sección crítica.

D.6.3 Criterio de finalización de ensayo.

Para todo límite debe verificarse que no aparece ninguna fisura después de 10^7 ciclos con una carga que cree un esfuerzo en superficie equivalente a los valores de ensayo.

D.6.4 Determinación del límite de fatiga.

La primera etapa consiste en determinar la curva de interpolación y encontrar la relación crítica D/d . Debe utilizarse un mínimo de tres probetas para cada valor de D/d . El límite de esfuerzo considerado es el mayor nivel de esfuerzo sin fisuras para todas las probetas.

Cuando se alcanza el valor crítico D/d , la segunda etapa consiste en aplicar el método STAIR CASE con 15 probetas para determinar el límite de fatiga para esta relación D/d .

El intervalo de esfuerzo es 10 MPa.

Debe calcularse la probabilidad de no aparición de fisuras e indicarlo en el informe de ensayo. Para todos los casos, este valor debería ser comparable con los valores aplicables a materiales usuales.

D.7 Información incluida en el informe de ensayo.

Debe presentarse un informe de ensayo con los resultados y análisis de todos los límites de fatiga. Este informe debe registrar todas las condiciones y parámetros utilizados en el desarrollo de los ensayos. Debe incluir la información siguiente:

- a) Descripción del material que ha sido ensayado (propiedades mecánicas generales, procedimiento de fabricación, tratamiento térmico, calidad del material, calidad de acabado de la superficie, factor de reducción, etc.);
- b) Planos a escala real de la probeta y de los demás elementos montados para el ensayo (la información de los planos tiene que cumplir los requisitos de los apartados pertinentes de las normas aplicables al componente sobre rugosidad, tolerancias, etc.);
- c) Descripción del procedimiento de calado y resultados de los ensayos relacionados;
- d) Número de serie de la probeta (el número de serie también debe permitir la identificación de la colada);
- e) Registros de los ensayos efectuados sobre las probetas, de conformidad con los apartados 3.4.2 y 3.5 a 3.8 del texto principal de la Norma EN 13261:2009;
- f) Métodos aplicados para verificar el esfuerzo, medirlo y extrapolar los valores en las zonas críticas (en los casos exigidos en los apartados anteriores);
- g) Descripción de la cadena de medición completa y de las características de los componentes añadidos; respeto de las tolerancias de medición y del nivel de precisión;
- h) Informe de inspección para todas las probetas al final de cada escalón de esfuerzo alcanzado;
- i) Descripción y análisis de la fisura si la probeta se fisura.

El informe de ensayo debe formar parte de un archivo que incluya los siguientes documentos:

- Registros para la identificación de todas las propiedades mecánicas definidas en los apartados 3.2.1, 3.2.2, 3.3 y 3.4.1 del texto principal de la Norma EN 13261:2009 (para lotes);
- Certificado de conformidad con la Norma EN ISO/IEC 17025 para el(los) laboratorios responsable(s) de los ensayos.

ANEXO ZA (Informativo)

CAPÍTULOS DE ESTA NORMA EUROPEA RELACIONADOS CON LOS REQUISITOS ESENCIALES U OTRAS DISPOSICIONES DE LA DIRECTIVA 96/48/CE MODIFICADA POR LA DIRECTIVA 2004/50/CE.

Esta norma europea ha sido elaborada bajo un Mandato dirigido a CEN por la Comisión Europea y por la Asociación Europea de Libre Comercio, para proporcionar un medio de dar cumplimiento a los requisitos esenciales de la Directiva 96/48/CE, modificada por la Directiva 2004/50/CE.

Una vez que esta norma se cite en el Diario Oficial de la Unión Europea bajo esta directiva, y se implemente como norma nacional en al menos un Estado Miembro, el cumplimiento de los capítulos de esta norma indicados en la tabla ZA.1, dentro de los límites del campo de aplicación de esta norma, es un medio para dar presunción de conformidad con los requisitos esenciales específicos de esta directiva y los reglamentos de la AELC asociados.

Tabla ZA.1 – Correspondencia entre esta norma europea y la Directiva 96/48/CE

Capítulo(s)/Apartado(s) de esta norma europea	Capítulo/apartado/puntos y anexos de la ETI adoptada por el Consejo de 21 de febrero de 2008	Texto/capítulos/apartados/anexos correspondiente de la Directiva 96/48/CE
Toda la norma es aplicable	4.2.3.4.1 Comportamiento dinámico del material rodante. Generalidades	Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.1.1, 1.1.3 Seguridad Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.5 Compatibilidad técnica Anexo III, Requisitos específicos de cada subsistema "Control-mando y señalización" – 2.3.2 Compatibilidad técnica Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos específicos de cada subsistema "Material rodante" – 2.4.2 Fiabilidad y disponibilidad

ADVERTENCIA: Los productos incluidos en el campo de aplicación de esta norma pueden estar afectados por otros requisitos o directivas de la UE.

ANEXO ZB (Informativo)

CAPÍTULOS DE ESTA NORMA EUROPEA RELACIONADOS CON LOS REQUISITOS ESENCIALES U OTRAS DISPOSICIONES DE LA DIRECTIVA 2001/16/CE MODIFICADA POR LA DIRECTIVA 2004/50/CE.

Esta norma europea ha sido elaborada bajo un Mandato dirigido a CEN por la Comisión Europea y por la Asociación Europea de Libre Comercio, para proporcionar un medio de dar cumplimiento a los requisitos esenciales de la Directiva 2001/16/CE, modificada por la Directiva 2004/50/CE.

Una vez que esta norma se cite en el Diario Oficial de la Unión Europea bajo esta directiva, y se implemente como norma nacional en al menos un Estado Miembro, el cumplimiento de los capítulos de esta norma indicados en la tabla ZB.1, dentro de los límites del campo de aplicación de esta norma, es un medio para dar presunción de conformidad con los requisitos esenciales específicos de esta directiva y los reglamentos de la AELC asociados.

Tabla ZB.1 – Correspondencia entre esta norma europea y la Directiva 2001/16/CE

Capítulo(s)/Apartado(s) de esta norma europea	Capítulo/apartados/puntos y anexos de la ETI Material rodante – Vagones de mercancías de enero de 2005 y aprobada por el comité sobre interoperabilidad y seguridad del sistema ferroviario europeo	Texto/capítulos/apartados/anexos correspondiente de la Directiva 2001/16/CE
Toda la norma es aplicable	<p>4.2.3.4.1 Comportamiento dinámico del vehículo. Generalidades</p> <p>5.3.2.4 Interacción vehículo/vía y gálibo. Ejes</p> <p>5.4.2.4 Interacción vehículo/vía y gálibo. Ejes</p> <p>6.1.3.2.4 Interacción vehículo/vía y gálibo. Ejes</p> <p>Anexo E: Interacción vehículo/vía y gálibo. Dimensiones de los juegos de ruedas y tolerancias para el ancho estándar</p> <p>Anexo M: Interacción vehículo/vía y gálibo. Eje</p> <p>Anexo Q: Procedimientos de valuación. Componentes de interoperabilidad</p> <p>Anexo Y: Componentes. Bogies y órgano de rodadura</p> <p>Capítulos/apartados/puntos y anexos de la ETI de enero de ferrocarril convencional sobre material rodante para locomotoras y vehículos motores (borrador sometido al comité sobre interoperabilidad y seguridad del sistema ferroviario europeo en septiembre de 2008)</p>	<p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.1.1, 1.1.3 Seguridad</p> <p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.5 Compatibilidad técnica</p> <p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos específicos de cada subsistema "Control-mando y señalización" – 2.3.2 Compatibilidad técnica</p> <p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos específicos de cada subsistema "Material rodante" – 2.4.2 Fiabilidad y disponibilidad</p>
	4.2.3.5.2 Ejes montados	

ADVERTENCIA: Los productos incluidos en el campo de aplicación de esta norma pueden estar afectados por otros requisitos o directivas de la UE.

ANEXOS DE LA NORMATIVA 13260.**ANEXO A (Normativo)****CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA DE CALADO A PRESIÓN**

La figura A.1 describe las características de la curva de calado a presión. La fuerza de calado debe comenzar a incrementarse antes de que la penetración de la zona de calado en el cubo de la rueda alcance los 30 mm. La fuerza entonces debe incrementarse de forma continua sin salirse de los valores límite dados por las curvas establecidas por el diseñador del componente que debe calarse.

Sin embargo, se admiten los casos siguientes:

1. Una reducción de la fuerza de calado donde se ubica el canal para el de calado con aceite. La fuerza máxima a la que se haya llegado antes del canal debe alcanzarse de nuevo a menos de 25 mm de penetración. En el intervalo, la fuerza de calado puede estar por debajo de la definida por la curva límite inferior;
2. Una disminución máxima de 0,05 MN en los últimos 25 mm de desplazamiento;
3. Curvas con desviaciones locales si existe un acuerdo previo entre el cliente y el proveedor o durante la cualificación del producto.

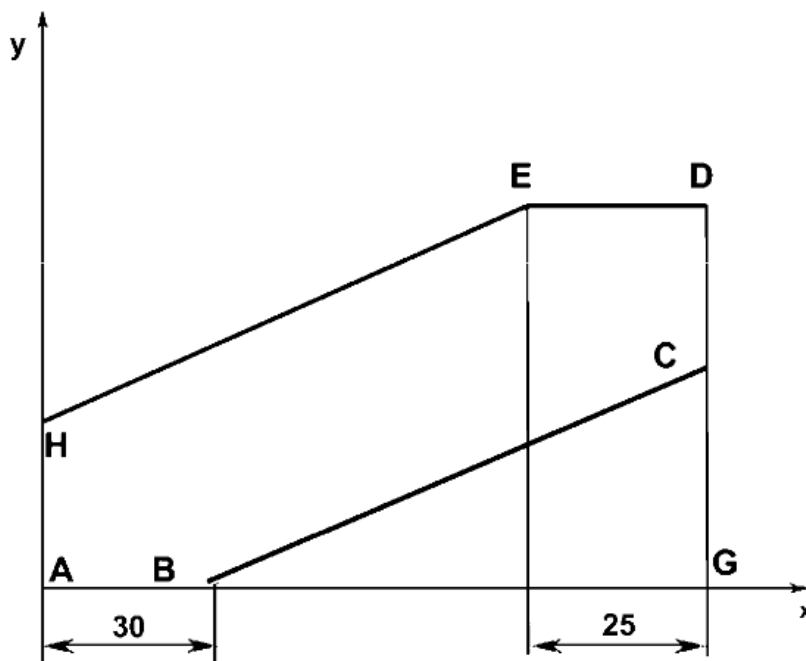


Figura A.1 Características de la curva de calado a presión

**ANEXO B (Normativo)****CARACTERÍSTICAS DE FATIGA DE UN EJE MONTADO CON EJE DE ACERO DE GRADO EA1T O EA4T.**

La tabla B.1 define las características de fatiga de un eje montado con eje de acero de grado EA1T o EA4T.

Tabla B.1 Valores mínimos de tensiones en N/mm^2

Grado	F_3	F_4	F_5
EA1T	120	110	94
EA4T	145	132	113

ANEXO C (Informativo)**INFORMACIÓN SOBRE LA PROBETA PARA ENSAYOS DE FATIGA.**

La figura C.1 muestra el plano de la probeta para ensayos de fatiga.

NOTA Esta probeta está diseñada con una relación de diámetros, \emptyset zona de calado (185) / \emptyset cuerpo (171), de 1,08. Esta relación de diámetros se elige a fin de garantizar la comprobación del montaje frente a la resistencia del eje montado. Si se produce una fisura, aparecerá en la zona de calado y no en el cuerpo. Este valor puede no ser válido para aceros de alta aleación. Pueden aplicarse relaciones de diámetro mayores (inferiores a 1,12) para los grados de acero de esta norma, no obstante:

Con cocientes mayores, existe el riesgo de que se produzca fisuras en el radio del cuerpo;

Con cocientes menores, existe el riesgo de que no se alcance la fuerza necesaria en la zona de calado de la rueda.

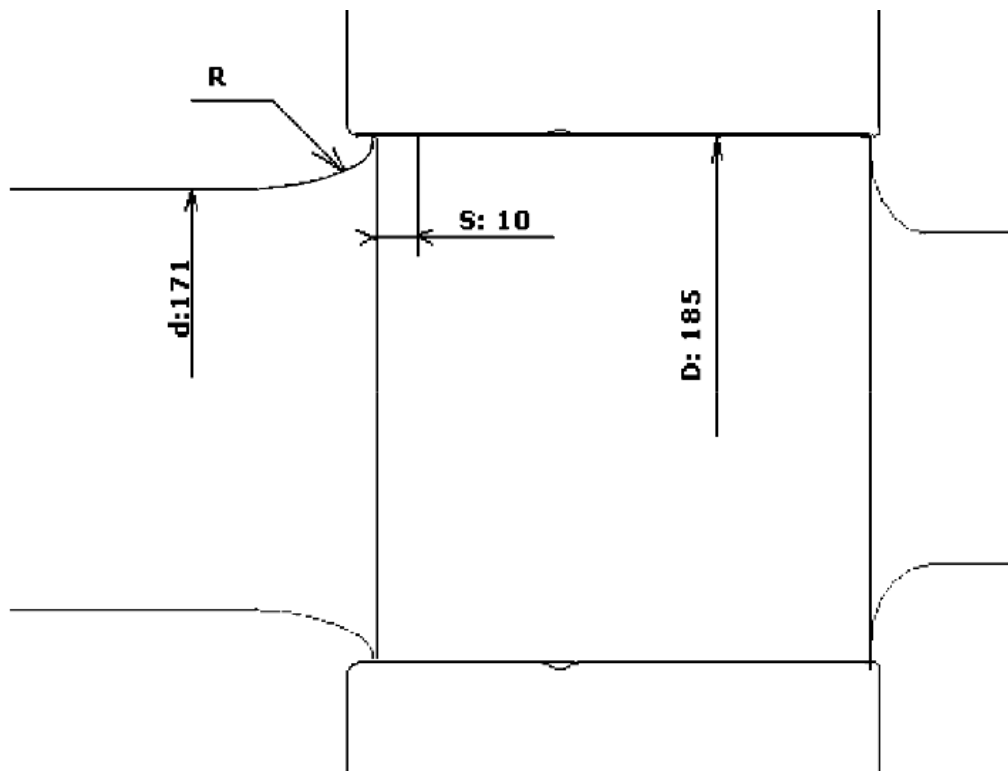


Figura C.1 Plano de la geometría de la probeta necesaria para los ensayos de fatiga

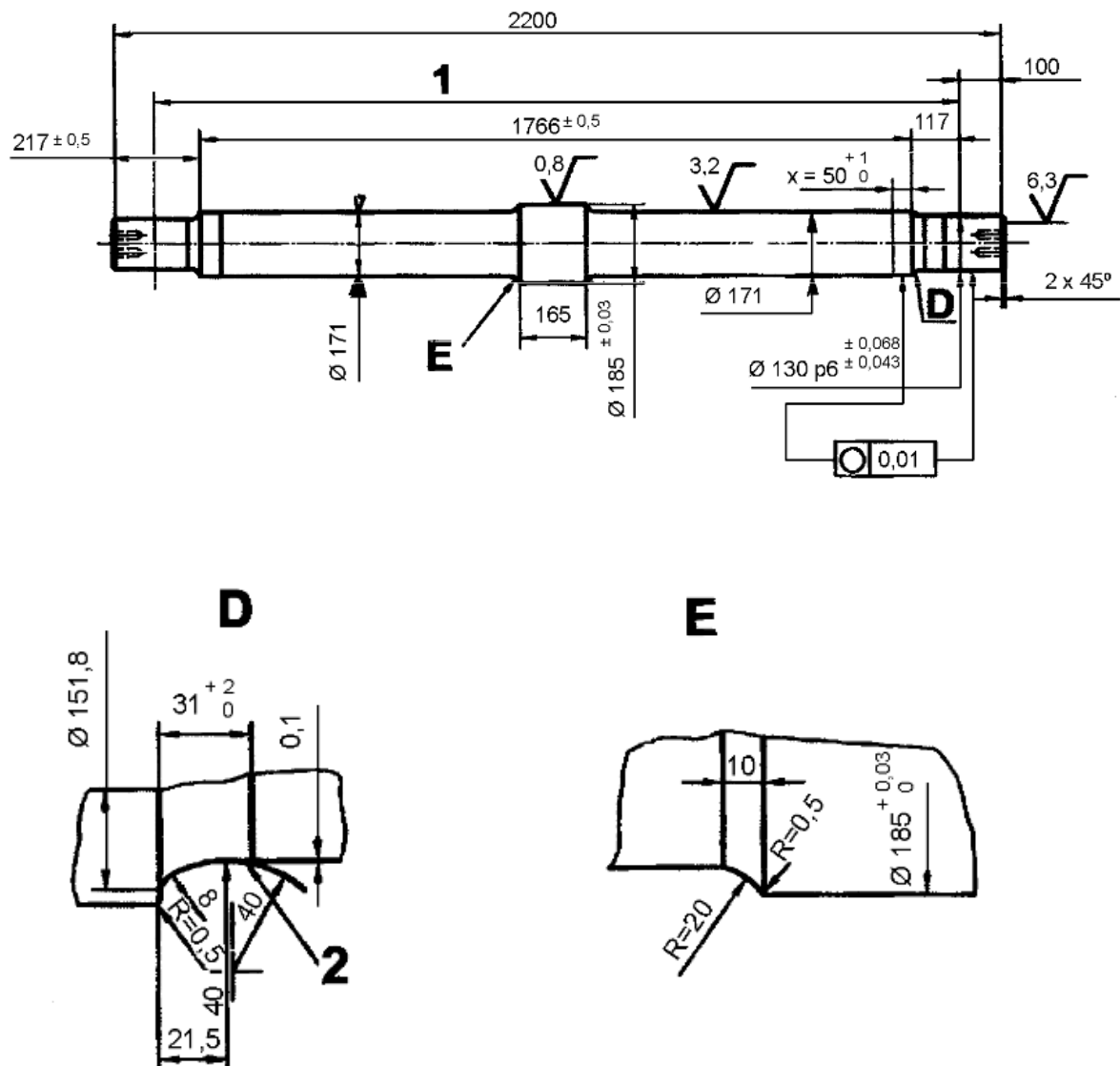


Figura C.2 Ejemplo de probeta de ensayo

ANEXO D (Informativo)**DOCUMENTOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL EJE MONTADO.**

En este anexo informativo se incluyen dos documentos:

- 1) La figura D.1 muestra el documento que debe utilizarse para un eje montado individual, en general de categoría 1 o un eje montado motor;
- 2) La figura D.2 muestra el documento que puede utilizarse para varios ejes montados.

La tabla D.1 detalla el significado de la información contenida en estos dos documentos.

Eje montado	Tipo	22
	Número de serie	4
	Marca del propietario	

1 – Componentes

	Eje	Rueda Izq.	Rueda Dcha.
Planos	34	36	
Referencia de la rueda		36	36
Proveedor	35	37	37
Grado	7	11	11
Nº de colada/N.º de serie	5/6	9	9
Fecha de entrega	8	10	10
Diámetro de rueda		14	14
		Disco Izq.	Disco Dcho.
Plano		40	40
Referencia de disco		46	46
Proveedor		47	47
Fecha de entrega		48	48

Caja de grasa	Izq.	Dcha.
Tipo	30	
Proveedor	41	
Nº de serie	42	42
Fecha de fabricación	43	43
Fecha de montaje	44	

Grasa		
Nº de lote	31	31
Fecha de fabricación	31	31
Fecha de engrasado	44	44

Otros componentes

	Eje motor	Transmisión
Plano		
Nº de serie		
Proveedor		
Fecha de entrega		

2 – Características de montaje

		Ruedas			Discos			Ruedas dentadas	
		Permitido	Medida izq.	Medida dcha.	Permitido	Medida izq.	Medida dcha.	Permitido	Medida
Montaje		29	13	13	49	50	50	56	57
Fuerza de calado		28	12	12	51	52	52	58	59
Condición	Tipo	45			45			45	
de montaje	Característica	53			53			53	

Juego de rodamientos					Peso de grasa
Permitido					
Máx.	53	Mín.	53		
Medida izq.		Medida dcha.			
54		54		55	

3 – Controles

		Ruedas			Discos			Ruedas dentadas	
		Permitido	Medida izq.	Medida dcha.	Permitido	Medida izq.	Medida dcha.	Permitido	Medida
Excentricidad	60	61	61	60	61	61	60	60	67
Alabeo	69	61	61	60	61	61	60	60	67

Desequilibrio		Resistencia eléctrica	
Permitido	Medida	Permitido	Medida
63	64	63	65



4 – Protección contra la corrosión

Tipo de pintura: 66

Tipo de revestimiento: 66

5 – Distancia entre caras internas

	Libre
Permitido	67
A	67
B	67
C	67
D	67

Nombre del inspector	Compañía	Fecha	Firma	N.º de pedido
33	1			16
1 – Representante del fabricante del eje montado				

Figura D.1 Documento para la identificación de los componentes de un eje montado independiente, en general de categoría 1, o un eje montado motor

[illegible]

Tabla D.1 Información relativa a las características de los ejes montados

Elementos	Referencia	Identificación
Fabricante de los ejes montados	1 (2,3,4)	Nombre y centro de producción
Referencias del pedido del cliente	15 16 17 21 24 33	Referencia del plano Número interno de pedido Referencia de posibles anexos Nombre del cliente Referencia del pedido del cliente Nombre del inspector
Identificación de los ejes	5 6 7 8 34 35	Número de colada Número de serie Grado del acero Mes y año de fabricación Plano del eje Fabricante
Identificación de las ruedas	9 10 11 12 13a 13b 13c 14 28 29 32 36 37 45 53	Número de colada Mes y año de fabricación Grado del acero Presión de calado Diámetro interior del cubo de la rueda Diámetro de la zona de calado en el eje Montaje Diámetro de la rueda Tolerancia de la presión del calado Tolerancia del apriete Tipo de lubricante Plano y marcados de la rueda Fabricante de la rueda Tipo de montaje (SF para calado en caliente; PF para calado a presión) Tipo de lubricante si PF; tipo de temperatura de calentamiento si SF
Identificación del rodamiento	30 31 41 42 43 44 53 54 55	Tipo de rodamientos de la caja de grasa Tipo de grasa, número de lote, fecha de producción Proveedor Número de serie del rodamiento Fecha de fabricación Fecha de montaje Juego de rodamientos permitido Juego de rodamientos medido Peso de la grasa
Identificación del disco/freno	40 46 47 48 49 50 51 52	Plano Número de serie Fabricante Fecha de entrega Tolerancia del apriete de los discos Valor medido del apriete de los discos Tolerancia de la fuerza de calado Valor de la presión de calado
Otros elementos descaables	56 57 58 59	Apriete exigido Apriete medido Fuerza de calado exigida Fuerza de calado medida



Elementos	Referencia	Identificación
Controles	60	Excentricidad radial permitida
	61	Excentricidad radial medida
	63	Desequilibrio máximo permitido
	64	Desequilibrio máximo medido
	65	Bueno o malo
	66	Tipo de pintura
	67	Medición de las caras internas de un eje montado libre
Referencia del vagón	23/26	Referencias del vehículo (peso, número, etc.)
	25	Lugar de entrega
	27	Fecha de carga
Ruedas y eje montado	18	Desequilibrio
	19	Número de lote
	20	Excentricidad/alabeo

ANEXO E (Informativo)**CUALIFICACIÓN DEL PRODUCTO.**

El Comité Técnico CEN/CT 256 considera que los siguientes capítulos representan el mejor medio para evaluar la conformidad de una gama de productos con esta norma. No obstante, se puede aplicar un sistema de calidad distinto del especificado en la Norma EN ISO 9001.

E.1 Generalidades.

Un eje montado debe obtener su cualificación antes de que se utilice en una red europea. Este capítulo especifica los requisitos y procedimientos que se deben aplicar para cualificar el producto. La cualificación de un eje montado está vinculada de forma directa al proveedor, y un eje montado sólo puede cualificarse si el proveedor cumple los requisitos especificados en el apartado E.2.1.

Estos requisitos se aplican en los siguientes casos:

- 1) Todo eje montado de un nuevo proveedor;
- 2) Todo cambio de componentes del eje montado.

E.2 Requisitos.**E.2.1 Requisitos a cumplir por el proveedor.****E.2.1.1 Generalidades.**

Si las operaciones de fabricación de un eje montado conciernen a más de un proveedor, cada uno de ellos debe satisfacer los requisitos que se detallan más adelante.

E.2.1.2 Organización de la calidad.

El proveedor debería tener implantado un sistema de aseguramiento de la calidad conforme a la Norma EN ISO 9001.



E.2.2 Cualificación del personal.

E.2.2.1 Generalidades.

El personal responsable de los ensayos no destructivos debe estar cualificado según la Norma EN 473.

E.2.2.2 Equipo.

El equipo utilizado por el proveedor para la fabricación, control y seguimiento debe permitir el cumplimiento de los requisitos de esta norma.

E.2.3 Requisitos a cumplir por el producto.

El producto debe cumplir los requisitos de producto especificados en el capítulo 3 de la propia normativa. Debe establecerse la trazabilidad de todos los componentes y de su montaje.

E.3 Procedimiento de cualificación.

E.3.1 Generalidades.

El procedimiento de cualificación comprende cuatro fases sucesivas:

- 1) Entrega de documentación por parte del proveedor;
- 2) Evaluación del equipo y de los procesos de fabricación;
- 3) Ensayos de laboratorio;
- 4) Ensayos de producto.

E.3.2 Documentación requerida.

Cuando se presente una solicitud de cualificación, el proveedor debe aportar un expediente que incluya:

- 1) Una descripción de los productos objeto de la solicitud;
- 2) Una descripción de la empresa con:
 - a) Tamaño de la compañía (número de empleados y su distribución entre fabricación, control y aseguramiento de la calidad);
 - b) Producción anual de los diferentes productos;
 - c) Una lista de todos los equipos de producción y control;
- 3) Datos sobre la organización de la empresa, acompañados de los organigramas correspondientes;
- 4) Descripción de los procesos de fabricación con explicaciones sobre las diferentes etapas de la fabricación;
- 5) Documentos de cualificación de los diversos componentes del producto que va a cualificarse;
- 6) Resultados de los ensayos de los productos sometidos a cualificación.

Si el proveedor ya ha suministrado un expediente para la cualificación de un eje montado distinto, el que debe suministrar para la cualificación de un nuevo eje montado tiene que incluir sólo los elementos específicos de este producto o los nuevos de la empresa.

E.3.3 Evaluación de las instalaciones y los procesos de fabricación.

Esta evaluación comprende:

- 1) Inspección de la planta de fabricación y examen de los procesos de producción;
- 2) Inspección de la planta de fabricación de los componentes del eje montado y examen de sus procesos de producción;
- 3) Auditoría de la organización de la fabricación para confirmar si se han cumplido los requisitos del apartado E.2.1;
- 4) Auditoría de la información suministrada en los documentos referidos en el apartado E.3.1.

Al término de esta fase debe redactarse un informe para identificar todos los procesos de producción, incluidos los de los componentes del eje montado. Debe concluir si se han cumplido los requisitos del apartado E.2.1, que son necesarios para que el procedimiento de cualificación prosiga.

E.3.4 Ensayos de laboratorio.

Esta etapa debe verificar que se han alcanzado los límites de fatiga definidos en el apartado 3.2.2. (correspondiente a la normativa EN 13260) y los niveles de tensiones residuales definidos en el apartado 3.2.6. (correspondiente a la normativa EN 13260) Al término de esta fase ha de realizarse un informe. Debe confirmar la geometría y el proceso de fabricación de las probetas.

E.3.5 Ensayos de los productos terminados.

Todas las características definidas en el capítulo 3 de la propia normativa (excepto las de fatiga y las de tensiones residuales) deben verificarse en 10 ejes montados.

Las tensiones residuales definidas en el apartado 3.2.6. (correspondiente a la normativa EN 13260) se tienen que verificar en dos ejes.

Debe redactarse un informe que describa tanto los ejes montados sometidos a ensayo como los procedimientos de ensayo y los resultados.

Debe precisar si los ejes montados cumplen los requisitos o no. Si la conclusión es satisfactoria, puede emitirse un certificado de cualificación provisional. Una vez otorgado este certificado de cualificación provisional, las mismas verificaciones realizadas en los 10 ejes montados deben hacerse al menos en un eje montado de cada 30, hasta que se hayan entregado 300 ejes montados.

El producto está cualificado si estas verificaciones no muestran defectos repetidos en el producto.

Debe emitirse otro informe. En él deben identificarse los ejes montados, las comprobaciones y sus resultados.

Si el número de ejes montados a suministrar en dos años es menor de 300, el estado de cualificado se da después de realizar los ensayos en los 10 primeros ejes montados. No obstante, las mismas verificaciones que las realizadas en los primeros 10 ejes montados se deben llevar a cabo en uno de cada 30 ejes montados suministrados posteriormente.

E.4 Certificado de cualificación.

E.4.1 Condición de validez.

El certificado de cualificación debe especificar los límites de validez para:

- 1) Los diámetros y longitudes de las zonas de calado;
- 2) Los grados del acero y la geometría de los distintos componentes de los ejes montados;
- 3) El nivel de tensiones residuales producidas en el cubo de rueda por el calado.

E.4.2 Modificación y ampliación.

A petición del proveedor, se puede modificar o ampliar el alcance de la validez de la certificación en los siguientes casos:

- 1) Si se consideran otros productos;
- 2) Si se han modificado parámetros importantes (procesos de fabricación, organización de la calidad, etc.).

E.4.3 Transferencia.

En caso de cambio de propietario, una cualificación existente, si se solicita, puede transferirse a otra empresa si no se han modificado ni el contenido correspondiente ni las condiciones previas a la cualificación.

E.4.4 Caducidad.

El equipo y los procesos de producción descritos en el apartado E.3.3 deben volver a evaluarse en los casos siguientes:

- 1) Si, después de 5 años, no se han suministrado 300 ejes montados después de la cualificación provisional;
- 2) Si, en un periodo de 2 años, no se han suministrado ejes montados en el contexto del producto objeto de la cualificación.

E.4.5 Anulación.

Si el cliente registra defectos significativos en el producto, se deben repetir aquellas partes del procedimiento de cualificación que se vean afectadas.

Si el proveedor no ha garantizado el cumplimiento de todas las condiciones importantes de la cualificación, ésta puede anularse.

E.5 Expediente de cualificación.

Se debe preparar un expediente de cualificación por cada producto cualificado.

Debe contener los siguientes documentos:

- 1) La solicitud del proveedor;
- 2) Los documentos aportados por el proveedor (véase E.3.2);
- 3) Los informes de evaluación (véase E.3.3);
- 4) Los informes de los ensayos de laboratorio (véase E.3.4);
- 5) Los informes de los ensayos de producto (véase E.3.5);
- 6) El certificado de cualificación (véase E.4).

ANEXO F (Informativo)**ENTREGA DEL PRODUCTO.**

El Comité Técnico CEN/TC 256 considera que los apartados siguientes representan el mejor medio para evaluar la conformidad de los productos entregados según esta norma.

F.1 Generalidades

El cliente debe definir los siguientes elementos en su pedido:

- 1) La geometría y las medidas de los componentes del eje montado (planos);
- 2) Los planos del eje montado;
- 3) La categoría del eje montado;
- 4) Los requisitos de calado a presión o calado en caliente;
- 5) El método de ensayo por ultrasonidos utilizado, si éste se exige (véase F.3.2);
- 6) El marcado del eje montado (véase 3.2.8 correspondiente a la normativa EN 13260).

El cliente y el proveedor deben llegar a un acuerdo sobre los siguientes puntos:

- 7) El método de calado (véase 3.1.1 correspondiente a la normativa EN 13260);
- 8) El método de ensayo de resistencia eléctrica (véase 3.2.3 correspondiente a la normativa EN 13260);
- 9) El método de ensayo de desequilibrio (véase 3.2.4 correspondiente a la normativa EN 13260);
- 10) Los controles dimensionales optativos (véase F.3.1).

Para la entrega, se verifican algunas características en cada eje montado (véase F.2). Para las otras características definidas en el capítulo 3, el proveedor debe proponer un plan de calidad del producto (de acuerdo con la definición dada en la Norma EN ISO 9000) que debe acordarse con el cliente.

Todo eje montado debe ir acompañado de los documentos que registren su trazabilidad.

F.2 Comprobaciones específicas.

Deben efectuarse los siguientes controles en todos los ejes montados:

- 1) Conformidad del diagrama de calado para el calado a presión (véase 3.1.3 correspondiente a la normativa EN 13260);
- 2) Dimensiones: $d - d_1$, h , g , a_1 (véase 3.2.5.2 correspondiente a la normativa EN 13260). Para el calado en caliente, debe verificarse la resistencia del montaje en el 10% de los ejes que se vayan a entregar (véase 3.2.1 correspondiente a la normativa EN 13260).

F.3 Controles optativos.

F. 3. 1 Control dimensional.

Después de que el cliente y el proveedor hayan llegado a un acuerdo, se pueden verificar otras dimensiones definidas en el apartado 3.2.5 (correspondiente a la normativa EN 13260) en todos o en parte de los ejes montados de la entrega.

F.3.2 Examen por ultrasonidos.

Si la política de mantenimiento de un operador lo exige, los ejes de los montajes pueden ser sometidos a un control por ultrasonidos para detectar cualquier defecto de tamaño crítico que haya podido resultar del montaje.

El proceso debe ser conforme a un procedimiento acordado y llevado a cabo por operarios cualificados y autorizados que utilicen equipos también aprobados.

Debe estar disponible un eje de calibración autorizado para calibrar el equipo antes del ensayo.

Se debe llevar un registro permanente individual de cada examen.

F.4 Rectificaciones autorizadas.

Se autorizan reparaciones de los ejes montados si se cumplen los siguientes requisitos:

- 1) Un desequilibrio excesivo, unas medidas o tolerancias geométricas por encima de los límites permitidos deben corregirse mediante mecanizado o rectificado dentro de las medidas y tolerancias dadas en los planos y normas de cada componente;
- 2) Para corregir un montaje incorrecto de uno de los componentes, puede desmontarse y volverse a montar ese componente;
- 3) Distintas formas de las curvas de calado (en el caso de calado a presión) se toleran dentro de los límites de los diagramas normalizados que hayan acordado el cliente y el proveedor;
- 4) Después del mecanizado, se debe eliminar cualquier defecto que incida de forma negativa en la integridad del eje montado;
- 5) Los daños en la protección contra la corrosión pueden repararse si, después de la reparación, las características de las zonas reparadas son las mismas que las de las otras zonas;
- 6) Si, durante un calado a presión, un decalado o un ensayo de resistencia del montaje, las superficies caladas de los dos componentes en contacto quedan dañadas, se pueden reutilizar estos componentes con las siguientes condiciones:
 - a) Los elementos que se van a ensamblar pueden reutilizarse con un eje nuevo si éste tiene dos zonas de calado de ruedas de un diámetro superior a las tolerancias del dibujo, hasta un máximo de + 1,5 mm, para ajustar el apriete;
 - b) Si el daño provoca huellas en la zona de calado de las ruedas durante el de calado, la zona de calado puede mecanizarse para eliminarlas y podrá calarse otra rueda mientras quede un 50% de tolerancia en el espesor que se utilice para el mantenimiento y exista un acuerdo al respecto con el cliente;
 - c) Está permitido usar un método de proyección metálica aprobado para obtener un apriete correcto. Debe acordarse previamente con el cliente. Asimismo, este método debe haber obtenido una cualificación siguiendo un procedimiento que incluya ensayos de fatiga para probar que las características de fatiga de ese eje montado reparado son las mismas que las del eje montado no reparado.

Siempre que se haga una reparación autorizada, debe describirse en los documentos de trazabilidad del eje montado reparado.



F.5 Documentos.

F.5.1 Calado en caliente

Se debe asignar a cada elemento calado en caliente un documento que contenga la siguiente información:

- 1) Nombre del proveedor que haya efectuado el calado;
- 2) Fecha de la operación de calado;
- 3) Identificación del eje montado;
- 4) Elemento calado (rueda, disco, etc.);
- 5) Medidas:
 - a) Diámetro medio de la zona de calado;
 - b) Diámetro medio del agujero del cubo del elemento calado;
 - c) Apriete;
- 6) Posición “D” (derecha) o “I” (izquierda), si se montan dos piezas idénticas en un eje.

El anexo informativo D proporciona ejemplos de los documentos.

F. 5. 2 Calado a presión.

Se debe asignar a cada elemento calado a presión un documento con la curva de calado a presión (véase 3.1.3 correspondiente a la normativa EN 13260) que contenga la siguiente información:

- 1) Nombre del proveedor que haya efectuado el calado;
- 2) Fecha de la operación de calado;
- 3) Identificación del eje montado;
- 4) Elemento calado (rueda, disco, etc.);
- 5) Medidas:
 - a) Diámetro medio de la zona de calado;
 - b) Diámetro medio del agujero del cubo del elemento calado;
 - c) Apriete;
- 6) Posición “D” (derecha) o “I” (izquierda), si se calan dos piezas idénticas en un eje;
- 7) Fuerza de calado final F .

Esta información aparece en los documentos incluidos en el anexo informativo D.

F.5.3 Componentes.

Para todo eje montado, la identificación de cada componente debe registrarse en un documento, tal y como se describe en el anexo informativo D.

F.6 Plan de calidad.

F.6.1 Generalidades.

El proveedor debe establecer un plan de calidad que debe acordar con el cliente. Este plan de calidad debe hacer referencia al manual de calidad y debe contener los elementos específicos del producto.

**F.6.2 Objetivos.**

El objetivo de este plan, que debe establecerse en el momento de la oferta, consiste en describir las medidas tomadas por el proveedor para alcanzar y controlar la calidad de los productos considerados. Cuando se hayan elegido requisitos optativos, deben justificarse. Este plan de calidad debe especificar los controles exigidos en el transcurso de la fabricación y entrega de los productos. Los requisitos de inspección pueden recogerse en un plan de control de fabricación.

F.6.3 Validez.

Toda modificación del plan de calidad debe ser puesta en conocimiento del cliente y acordada con él.

Si el cliente detecta alguna disconformidad en el producto entregado, el plan de calidad debe revisarse.

ANEXO ZA (Informativo)

CAPÍTULOS DE ESTA NORMA EUROPEA RELACIONADOS CON LOS REQUISITOS ESENCIALES U OTRAS DISPOSICIONES DE LA DIRECTIVA 96/48/CE MODIFICADA POR LA DIRECTIVA 2004/50/CE.

Esta norma europea ha sido elaborada bajo un Mandato dirigido a CEN por la Comisión Europea y por la Asociación Europea de Libre Comercio, para proporcionar un medio de dar cumplimiento a los requisitos esenciales de la Directiva 96/48/CE modificada por la Directiva 2004/50/CE.

Una vez que esta norma se cite en el Diario Oficial de la Unión Europea bajo esta directiva, y se implemente como norma nacional en al menos un Estado Miembro, el cumplimiento de los capítulos de esta norma indicados en la tabla ZA.1, dentro de los límites del campo de aplicación de esta norma, es un medio para dar presunción de conformidad con los requisitos esenciales específicos de esta directiva y los reglamentos de la AELC asociados.

Tabla ZA.1 Correspondencia entre esta norma europea y la Directiva 96/48/CE

Capítulo(s)/Apartado(s) de esta norma europea	Capítulos/apartados/puntos y anexos de la ETI de junio de 2006 adoptada por el Consejo el 21 de febrero de 2008	Texto/capítulos/apartados/anexos correspondientes de la Directiva 96/48/CE
Toda la norma es aplicable	4.2.3.3.1 Características eléctricas	Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 Seguridad
	4.2.3.4.1 Comportamiento dinámico del material rodante. Generalidades	Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.5 Compatibilidad técnica
	4.2.3.9.1 Ejes montados	Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos específicos de cada subsistema “Control- mando y señalización” –2.3.2 Compatibilidad técnica
	Anexo M	Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos específicos de cada subsistema “Material rodante”
		2.4.2 Fiabilidad y disponibilidad
		2.4.3 § 3 Compatibilidad técnica

ADVERTENCIA: Los productos incluidos en el campo de aplicación de esta norma pueden estar afectados por otros requisitos o directivas de la UE.

ANEXO ZB (Informativo)**CAPÍTULOS DE ESTA NORMA EUROPEA RELACIONADOS CON LOS REQUISITOS ESENCIALES U OTRAS DISPOSICIONES DE LA DIRECTIVA 2001/16/CE MODIFICADA POR LA DIRECTIVA 2004/50/CE.**

Esta norma europea ha sido elaborada bajo un Mandato dirigido a CEN por la Comisión Europea y por la Asociación Europea de Libre Comercio, para proporcionar un medio de dar cumplimiento a los requisitos esenciales de la Directiva 2001/16/CE modificada por la Directiva 2004/50/CE.

Una vez que esta norma se cite en el Diario Oficial de la Unión Europea bajo esta directiva, y se implemente como norma nacional en al menos un Estado Miembro, el cumplimiento de los capítulos de esta norma indicados en la tabla ZB.1, dentro de los límites del campo de aplicación de esta norma, es un medio para dar presunción de conformidad con los requisitos esenciales específicos de esta directiva y los reglamentos de la AELC asociados.

Tabla ZB.1 Correspondencia entre esta norma europea y la Directiva 2001/16/CE

Capítulo(s)/Apartado(s) de esta norma europea	Capítulos/apartados/puntos y anexos de la ETI de enero de 2005 Material rodante – Vagones de mercancías y aprobada por el comité sobre interoperabilidad y seguridad del sistema ferroviario europeo	Texto/capítulos/apartados/anexos correspondiente de la Directiva 2001/16/CE
Toda la norma es aplicable	<p>4.2.3.3.1 Resistencia eléctrica</p> <p>4.2.3.4.1 Comportamiento dinámico del vehículo. Generalidades</p> <p>5.3.2.2 Interacción vehículo/vía y gálibo. Ejes montados</p> <p>5.4.2.2 Interacción vehículo/vía y gálibo. Ejes montados</p> <p>6.1.3.2.2 Interacción vehículo/vía y gálibo. Ejes montados</p> <p>Anexo E: Interacción vehículo/vía y gálibo. Dimensiones de los juegos de ruedas y tolerancias para el ancho estándar</p> <p>Anexo K: Interacción vehículo/vía y gálibo. Ejes montados</p> <p>Anexo Q: Procedimientos de valuación. Componentes de interoperabilidad</p> <p>Anexo Y: Componentes. Bogies y órgano de rodadura</p> <p>Capítulos/apartados/puntos y anexos de la ETI de enero de ferrocarril convencional sobre material rodante para locomotoras y vehículos motores (borrador sometido al comité sobre interoperabilidad y seguridad del sistema ferroviario europeo en septiembre de 2008)</p>	<p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 Seguridad</p> <p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.5 Compatibilidad técnica</p> <p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos específicos de cada subsistema “Control-mando y señalización” – 2.3.2 Compatibilidad técnica</p> <p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos específicos de cada subsistema “Material rodante”</p> <p>2.4.2 Fiabilidad y disponibilidad</p> <p>2.4.3 § 3 Compatibilidad técnica</p>



Capítulo(s)/Apartado(s) de esta norma europea	Capítulos/apartados/puntos y anexos de la ETI de enero de 2005 Material rodante – Vagones de mercancías y aprobada por el comité sobre interoperabilidad y seguridad del sistema ferroviario europeo	Texto/capítulos/apartados/anexos correspondiente de la Directiva 2001/16/CE
	4.2.3.3.1 Parámetros de material rodante que influyen en el subsistema CCS 4.2.3.5.2 Ejes montados 4.2.3.5.2.1 Características mecánicas y geométricas de los ejes montados 5.3.2.2 Ejes montados	

ADVERTENCIA: Los productos incluidos en el campo de aplicación de esta norma pueden estar afectados por otros requisitos o directivas de la UE.

ANEXOS DE LA NORMATIVA 13261.**ANEXO A (Normativo)****CARACTERÍSTICAS ESPECIALES PARA EJES DE ACERO DE GRADOS EA1T Y EA4T.****A.1 Composición química.**

La composición química debe ser conforme a lo indicado en la tabla A.1.

Tabla A.1 – Límite máximo por análisis del producto (%)

Grado	C	Si	Mn	P ^a	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
EA1T	0,40	0,50	1,20	0,020	0,020 ^{ab}	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06
EA4T	0,22 0,29	0,15 0,40	0,50 0,80	0,020	0,015 ^b	0,90 1,20	0,30	0,15 0,30	0,30	0,06

^a En el momento del concurso y del pedido, se puede acordar un contenido máximo de 0,025%.

^b En el momento del concurso y del pedido, se puede acordar, un contenido mínimo de azufre de acuerdo con el proceso de elaboración del acero, para proteger contra la fragilización por hidrógeno.

A.2 Características mecánicas**A.2.1 Características del ensayo de tracción**

Los valores de R_{eH} , R_m y A_5 deben ser conforme a lo indicado en la tabla A.2.

Tabla A.2 – Valores a alcanzar en la mitad del radio en ejes macizos o en el punto medio de las superficies interior y exterior en ejes huecos

Grado	R_{eH} (N/mm ²) ^a	R_m (N/mm ²)	A_5 %
EA1T	≥ 350	550 – 700	≥ 24
EA4T	≥ 420	650 – 800	≥ 18

^a Si no consta el límite elástico aparente, se debe determinar el límite convencional $R_{p0.2}$.

A.2.2 Características de la resistencia al choque.

Los valores de la energía absorbida con probetas entalladas en U (KU) deben atenerse a los definidos en la tabla A.3.

Tabla A.3 – Valores a alcanzar en la mitad del radio en ejes macizos o en el punto medio de las superficies interior y exterior en ejes huecos

Grado	KU longitudinal (J) a 20 °C	KU transversal (J) a 20 °C
EA1T	≥ 40	≥ 25
EA4T	≥ 40	≥ 25

A.2.3 Características de fatiga.

Las tensiones límite deben ser las definidas en la tabla A.4.

Tabla A.4 – Tensiones límite de fatiga

Grado	$F_1 \geq$	$F_2 \geq$	$R_{FL} \geq$	$R_{FE} \geq$	$R_{FL}/R_{FE} \leq$
EA1T	200 N/mm ²	80 N/mm ²	250 N/mm ²	170 N/mm ²	1,47
EA4T	240 N/mm ²	96 N/mm ²	350 N/mm ²	215 N/mm ²	1,63

A.3 Características metalográficas.

Para EA1T, la estructura micrográfica debe ser de ferrita y perlita. El tamaño del grano debe ser 5 o menor (grano fino), según se define en el anexo B de la Norma EN ISO 643.

El acero de grado EA4T tiene una estructura micrográfica de bainita/martensita templada. El tamaño del grano debe ser 5 o menor (grano fino), según se define en el anexo B de la Norma EN ISO 643.

ANEXO B (Normativo)**CUÑA NORMALIZADA PARA LA MEDICIÓN DE LA PERMEABILIDAD A LOS ULTRASONIDOS.****B.1 Probeta.**

La probeta longitudinal se toma de un eje que haya sido examinado por ultrasonidos para asegurar que no tiene defectos.

B.2 Tolerancias de la cuña.

Longitud y diámetro $\leq 0,1$ si los valores son ≤ 100 mm

$\leq 0,2$ si los valores son > 100 mm

Perpendicularidad entre caras $\leq 5^\circ$

Rugosidad $1,6 \leq Ra \leq 3,2$

B.3 Grado del acero.

EA1N con doble normalización y con características químicas y mecánicas conformes a esta norma. El tamaño de grano no debe superar el definido en la imagen 8 del anexo B de la Norma EN ISO 643:2003.

ANEXO C (Normativo)**MÉTODO PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DEL REVESTIMIENTO AL CHOQUE.****C.1 Principio.**

El método de ensayo consiste en disparar un proyectil perpendicularmente a la superficie protegida y, después, estudiar las alteraciones del revestimiento y de la superficie de la probeta.

C.2 Probeta.

La probeta debe ser un eje con revestimiento de protección o una sección de eje protegida representativa del producto acabado.

C.3 Dispositivo de ensayo.

Una máquina que permita disparar un proyectil de acero tratado (diámetro: 32 mm; ángulo en el vértice: 105°; masa: 60 g). Su dureza Vickers debe ser 400.

C.4 Procedimiento.

Se debe disparar por expansión de un volumen de aire comprimido a 8 bar para asegurar una velocidad de salida de 19,4 m/s.

La resistencia al choque se debe evaluar a – 25 °C y a temperatura ambiente.

C.5 Expresión de los resultados.

Después del choque, se debe examinar a ojo desnudo el aspecto de la superficie del revestimiento, así como el aspecto de la superficie de la probeta una vez que se ha quitado el revestimiento. Se deben registrar las alteraciones y compararlas con los criterios dados en esta norma.

ANEXO D (Normativo)**MÉTODO PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DEL REVESTIMIENTO A LAS PROYECCIONES DE GRAVILLA.****D.1 Principio.**

Se proyecta una cantidad conocida de gravilla sobre la superficie protegida; después se estudian las alteraciones producidas en el revestimiento.

D.2 Probeta.

La probeta debe ser un eje con revestimiento de protección o una sección de eje protegida representativa del producto acabado.

D.3 Dispositivo de ensayo.

Un tubo recto (diámetro interior: 38 mm; altura: 5 m) dispuesto verticalmente, con un embudo en la parte superior para recibir la gravilla y cerrado con una escotilla en la parte inferior.

La gravilla se representa mediante un kilogramo con tuercas HM6 de acero, de clase 8.8, tal como se define en la Norma EN 20898-2:1993.

D.4 Procedimiento.

Se sitúa la probeta con su revestimiento a 30 mm bajo el tubo, de modo que la gravilla incida a 45° de media con la tangente a la superficie de ensayo.

Se abre la escotilla y se deja caer la gravilla toda de una vez.

Se examina la superficie que haya recibido el impacto y se registran los resultados.

D.5 Expresión de los resultados.

Se emplea la siguiente tabla para registrar el porcentaje P de la superficie 3) donde el revestimiento se haya descascarillado.

**Tabla D.1 – Resultados**

Nivel	P%	Nivel	P%
1	10	6	60
2	20	7	70
3	30	8	80
4	40	9	90
5	50	10	100

ANEXO E (Normativo)**MÉTODO PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DEL REVESTIMIENTO A DETERMINADOS PRODUCTOS CORROSIVOS.****E.1 Principio.**

La probeta se sumerge repetidamente en una solución de ensayo y se examinan las posibles alteraciones del revestimiento y de la superficie protegida de la probeta.

E.2 Probeta.

La probeta debe ser un eje con revestimiento de protección o una sección de eje protegida representativa del producto acabado.

E.3 Dispositivo de ensayo.

Un recinto estanco, mantenido a temperatura constante, con un sistema que permita someter a una probeta a ciclos alter-nos de inmersión - emersión.

E.4 Productos corrosivos.

Los productos corrosivos en que se sumerge la probeta deben seleccionarse según los elementos agresivos específicos a los que debe estar sometido el eje durante su vida útil. Las tres soluciones siguientes:

- 3% de solución acuosa, en volumen, con un (95 – 97)% de ácido sulfúrico, en agua desmineralizada con una resistividad de más de $10\text{ M }^{\Omega}\text{ m}$;
- 10% de solución acuosa, en masa, con cloruro de potasio, en agua desmineralizada con una resistividad de más de $10\text{ M }^{\Omega}\text{ m}$;
- 10% de solución acuosa, en masa, con hidróxido de sodio, en agua desmineralizada con una resistividad de más de $10\text{ M }^{\Omega}\text{ m}$;

Son representativas de la mayoría de los agentes corrosivos a los que se someten los ejes en servicio.

NOTA Se pueden tener en cuenta otros productos, como aceites, combustibles, etc.



E.5 Procedimiento.

Se debe efectuar un ensayo en la probeta con cada producto corrosivo específico, y en las siguientes condiciones:

- Temperatura del recinto y de la solución: (23 ± 2) °C;
- Duración de la inmersión: 4 h;
- Duración de la emersión: 4 h;
- Número de ciclos inmersión/emersión: 32.

El cliente y el proveedor deben llegar a un acuerdo sobre las distintas condiciones de ensayo, según el producto corrosivo específico que se esté examinando.

Después del ensayo, las probetas deben enjuagarse con agua limpia y dejarse secar al aire durante 1 h.

E.6 Expresión de los resultados.

Después de que la probeta haya sido sometida a los ensayos, se haya enjuagado y secado, se deben examinar a ojo desnudo las posibles alteraciones; debe llevarse a cabo también un ensayo de adherencia según la Norma EN ISO 2409.

ANEXO F (Normativo)**MÉTODO PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DEL REVESTIMIENTO FRENTE A ESFUERZOS MECÁNICOS CÍCLICOS.****F.1 Objeto.**

El objeto de este ensayo es evaluar la resistencia del revestimiento frente a esfuerzos mecánicos cíclicos.

F.2 Principio.

El ensayo consiste en cargar una probeta de acero, cubierta con el revestimiento que se ha de evaluar, a flexión rotativa, incrementando los niveles de carga hasta la rotura del revestimiento.

Cuando el revestimiento se rasga, se usa un producto corrosivo para desencadenar la fisuración en la probeta.

F.3 Probeta.

Las probetas son las definidas en la figura H.2. En su parte activa, tienen un diámetro de 8,5 mm.

Las probetas son de acero de grado EA1N, según queda definido en esta norma. En su parte activa se cubren con el revestimiento a evaluar.

F.4 Dispositivo de ensayo.

El dispositivo debe permitir realizar ensayos en flexión rotativa de probetas en que los esfuerzos aplicados a las partes activas varíen según el nivel.

El dispositivo también debe permitir aplicar a las probetas un producto corrosivo durante el ensayo.

F.5 Procedimiento.

Se deben realizar ensayos en cuatro probetas, a niveles sucesivos, en los que el valor máximo de las tensiones en las superficies de las probetas viene dado por la relación siguiente:

$$\sigma_n = 160 + n \times 10 \text{ N/mm}^2$$

Donde:

σ es la tensión máxima en la superficie de la probeta, en su parte activa;

n es el número de nivel ($n > 0$). Los ensayos comienzan con n igual a 1.

Cada nivel comprende 13×10^6 ciclos bajo la acción simultánea de la tensión mecánica y del producto corrosivo especificado. Se deben dejar 96 h de reposo después de cada nivel, sin ejercer tensión alguna ni ninguna acción del producto corrosivo.

Como producto corrosivo, se debe usar agua desmineralizada con una resistividad de más de $100 \text{ M}\Omega \cdot \text{m}$, se distribuye por goteo, aplicando a la parte activa de la probeta una gota cada (15 o 2) s.

F.6 Expresión de resultados.

Tres de las cuatro probetas deben alcanzar sin romperse el nivel indicado.

ANEXO G (Normativo)**MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE HIDRÓGENO EN EL ACERO DE EJES EN EL MOMENTO DE SU FUNDICIÓN.****G.1 Muestreo.**

Para que responda a los requisitos especificados, se toman muestras del baño fundido usando uno de los siguientes cuatro métodos:

- 1) Molde de cobre;
- 2) Tubos de sílice para inmersión;
- 3) Tubo de cuarzo soplado (se prohíbe el cuarzo translúcido por su capacidad higroscópica);
- 4) Método por inmersión de sonda (método de gas portador con detector de conductividad térmica).

G.2 Métodos de análisis.

Sólo se aceptan dos métodos de análisis:

- Extracción al vacío a una temperatura entre 650 °C y 1 050 °C;
- Inyección de un gas portador en el acero fundido a (650 o 20) °C. El gas difuso resultante que contiene hidrógeno se recupera para su recirculación y análisis.

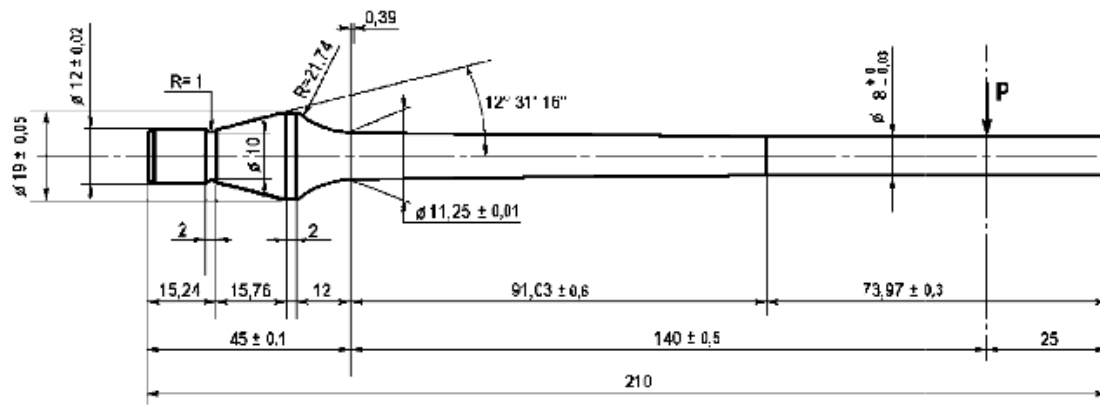
G.3 Precauciones.

Véase el apartado 6.5 de la Norma EN ISO 14284:2002.

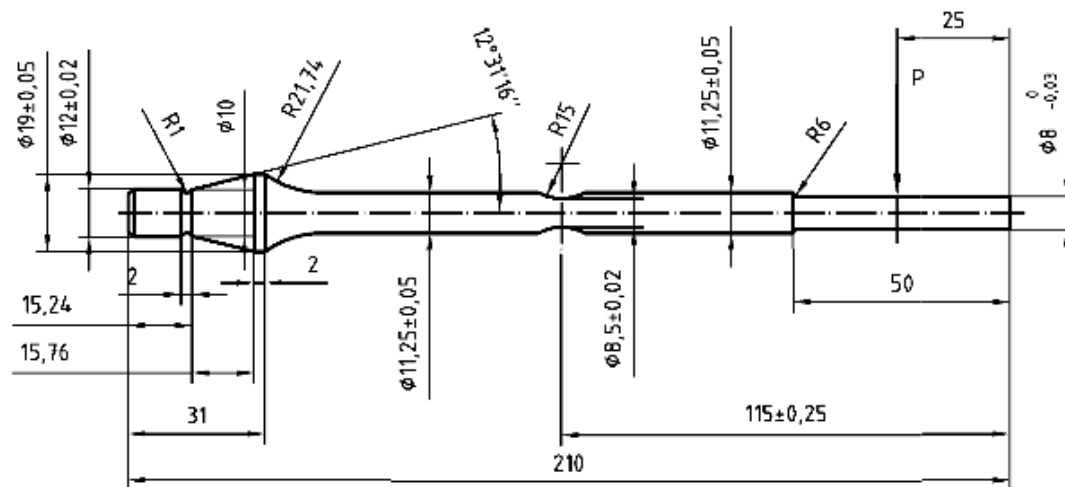
NOTA Los operarios deberían tener formación específica para llevar a cabo este análisis.

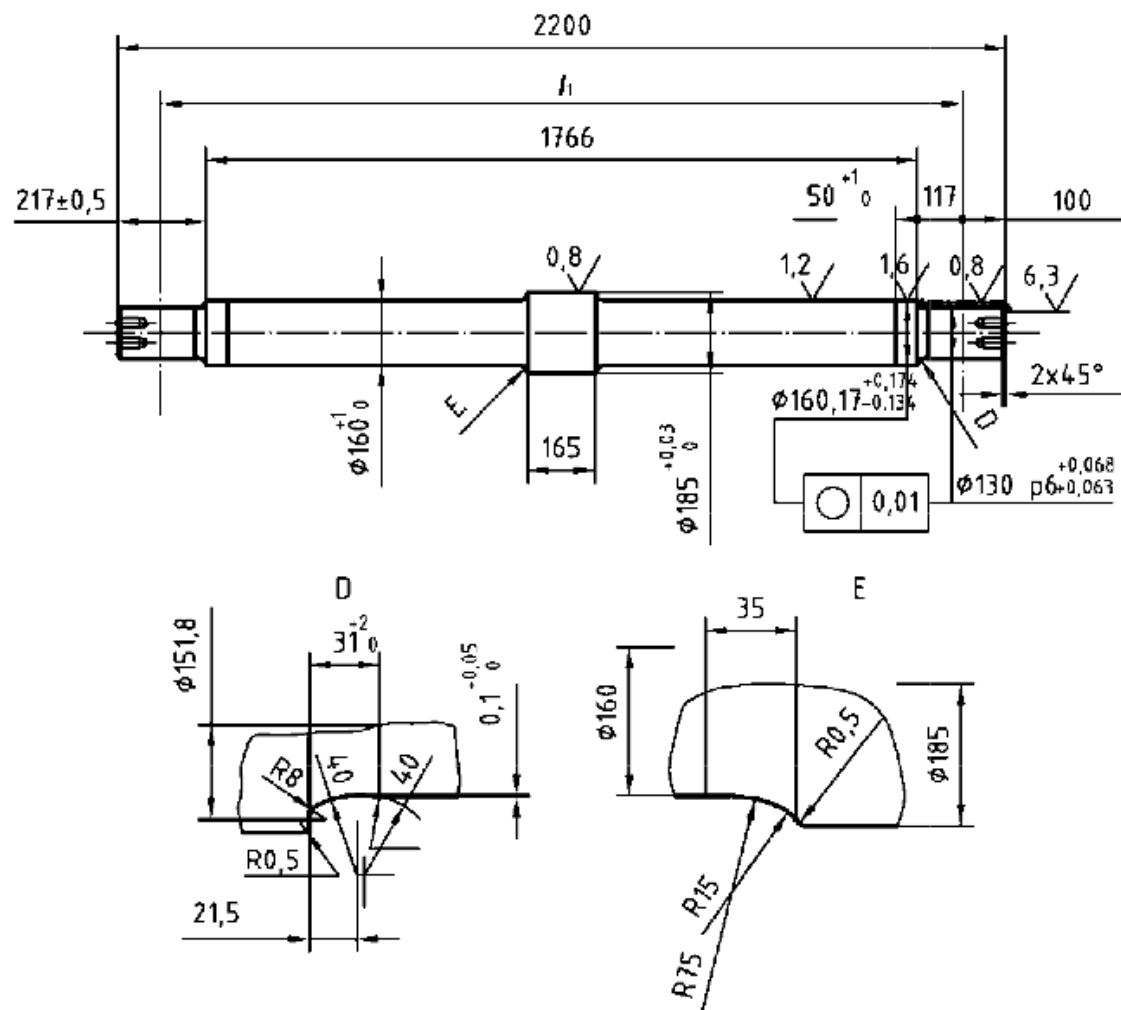
ANEXO H (Informativo)**DIBUJOS DE PROBETAS.**

Medidas en milímetros

**Figura H.1 – Probeta a escala reducida para determinar el límite de fatiga del acero**

Medidas en milímetros

**Figura H.2 – Probeta a escala reducida para evaluar la resistencia del revestimiento sometido a esfuerzos mecánicos cíclicos**



Leyenda

- 1 Distancia entre centros de manguetas 2000

Figura H.3 – Probeta a tamaño real para ensayo de fatiga

ANEXO I (Informativo)**CALIFICACIÓN DEL PRODUCTO.****I.1 Introducción.**

El Comité Técnico CEN/TC 256 considera que los siguientes capítulos representan el mejor medio de evaluar la conformidad de una gama de productos con esta norma. Sin embargo, se puede aplicar un sistema de calidad diferente al especificado en la Norma EN ISO 9001.

I.2 Generalidades.

Un eje se debe calificar antes de emplearse en una red europea.

Este capítulo especifica los requisitos y procedimientos que se deben aplicar para calificar un producto.

La calificación de un eje está directamente vinculada al proveedor, y un eje sólo puede ser calificado si el proveedor cumple los requisitos especificados en el capítulo I.3.

Estos requisitos y procedimientos se aplican sólo a ejes cuyo diseño ya se haya aprobado:

- O por su uso previo en redes europeas;
- O por la aplicación de las Normas EN 13103 y EN 13104.

Los requisitos se deben aplicar en los casos siguientes:

- Cualquier eje suministrado por un nuevo proveedor;
- Cualquier eje no calificado suministrado por un proveedor, cuando su diámetro sea apreciablemente diferente de los ejes ya calificados del mismo proveedor;
- Cualquier cambio en el proceso de fabricación de un eje calificado de un proveedor.

I.3 Requisitos.

I.3.1 Requisitos que debe cumplir el proveedor.

I.3.1.1 Generalidades.

Cuando la fabricación de un eje implique a más de un proveedor, todos ellos deben cumplir los requisitos que figuran a continuación.

I.3.1.2 Organización de la calidad.

El proveedor debería llevar a efecto un sistema de aseguramiento de la calidad conforme con la Norma EN ISO 9001.

I.3.1.3 Calificación del personal.

El personal con formación en ensayos no destructivos debe estar calificado de acuerdo con la Norma EN 473.

I.3.1.4 Equipo.

El equipamiento usado por el proveedor para la fabricación, control y seguimiento debe permitir el cumplimiento de los requisitos de esta norma.

Para los ensayos por ultrasonidos, se debería usar un método automático. Para métodos no automáticos, se debe demostrar la reproducibilidad.

I.3.2 Requisitos a cumplir por el producto.

El producto debe cumplir los requisitos de producto especificados en el capítulo 3.

Debe establecerse la trazabilidad de cada eje después de su tratamiento térmico.

I.4 Procedimiento de calificación.

I.4.1 Generalidades.

El procedimiento de calificación del producto comprende tres fases sucesivas:

- Suministro de documentos por el proveedor;
- Evaluación del equipamiento y de los procesos de fabricación;
- Ensayos de laboratorio.

I.4.2 Documentación requerida.

Cuando se solicita la calificación, el proveedor debe suministrar un expediente que contenga:

- a) Una descripción de los productos objeto de la solicitud;
- b) Una descripción de la empresa, en la que se declare:
 - 1) La producción anual de todos los productos;
 - 2) Una lista de todos los medios de producción y control;
- d) Datos sobre la organización de la empresa, con los organigramas correspondientes;
- e) Una descripción de los procesos de fabricación con explicación de las distintas etapas, incluyendo la tasa de reducción del proceso de laminado y forjado;
- f) Datos sobre las materias primas con la lista de proveedores;
- g) Resultados de los ensayos realizados en los productos objeto de la solicitud;
- h) Certificados de calificación si el producto ya se ha calificado con anterioridad.

Si el proveedor ya ha proporcionado antes un expediente para la calificación de un eje distinto, el que debe facilitar para la calificación de un nuevo eje debe contener sólo los datos específicos de este nuevo eje o aquéllos de la empresa que sean nuevos.

I.4.3 Evaluación de las instalaciones y de los procesos de producción.

Esta evaluación comprende:

- Una inspección de la planta de fabricación y el examen de los procesos de producción;
- Una inspección de la planta de fabricación de las materias primas y el examen de sus procesos de producción;
- Una auditoría de los datos proporcionados por el proveedor para confirmar que se cumplen totalmente los requisitos del apartado I.3.1;
- Una auditoría de la información proporcionada en los documentos mencionados en el apartado I.4.2.

Al final de esta fase, se debe redactar un informe. En él se deben identificar todos los procesos de producción, incluidos los de materias primas que sean esenciales para la calidad del producto cuya calificación se solicite. Debe asegurarse que la evaluación satisface los requisitos del apartado I.3.1 para que continúe el procedimiento de calificación.

I.4.4 Ensayos de laboratorio.

Todas las características definidas en el capítulo 3, excepto las características de fatiga, se deben verificar en dos ejes tomados de una fabricación industrial.

Para las características de fatiga definidas en el apartado 3.2.3 de la normativa 13261, las verificaciones se deben llevar a cabo en ejes que se vayan a calificar o en probetas tomadas de productos del mismo proceso de fabricación.

El método para verificar el nivel de tensiones residuales debe definirse mediante acuerdo entre el cliente y el proveedor (véase 3.6.4 de la normativa 13261).

Para identificar mejor el producto que se ha de calificar, puede ser necesario realizar más ensayos (metalográficos, etc.) en esta fase, además de los mencionados en el capítulo 3. Los resultados de estos ensayos no influirán en la decisión final sobre la calificación.

Debe redactarse un informe. En él se deben describir las probetas y los diferentes ensayos. También se debe indicar el espesor del revestimiento protector final medido en las probetas ensayadas. En él deben figurar los resultados y se debe especificar si el producto satisface los requisitos.

I.5 Certificado de calificación.

I.5.1 Condición de validez.

El certificado de calificación debe especificar los límites de validez al menos para:

- Los grados del acero;
- Los diámetros del eje;
- Los datos de fatiga disponibles;
- La clase y el espesor de la protección final.

I.5.2 Modificación y ampliación.

A petición del proveedor, el dominio de la validez de la certificación puede modificarse o ampliarse si:

- Se van a considerar otros productos;
- Se han modificado los parámetros principales (procesos de fabricación, organización de la calidad, etc.).

I.5.3 Transmisión.

En caso de cambio de propietario, una calificación existente puede, si se solicita, ser transmitida a otra empresa si el contenido pertinente y las condiciones previas a la calificación no se han modificado.

I.5.4 Caducidad.

El equipamiento y los procesos de fabricación descritos en el apartado I.4.3 deben evaluarse de nuevo si durante un periodo de 2 años no se han hecho suministros de ningún producto perteneciente al dominio del producto objeto de la calificación.



I.5.5 Anulación.

Si el cliente registra defectos significativos en el producto, deben repetirse las partes del procedimiento de calificación que se vean afectadas.

Si el proveedor no está seguro de que se cumplen las condiciones importantes de calificación, ésta puede anularse.

I.6 Expediente de calificación.

Se debe preparar un expediente de calificación por cada producto calificado. Debe contener los siguientes documentos:

- La hoja de solicitud del proveedor;
- Los documentos aportados por el proveedor (véase I.4.2);
- Los informes de evaluación (véase I.4.3);
- Los informes de ensayos de laboratorio (véase I.4.4);
- El certificado de calificación (véase I.5).

ANEXO J (Informativo)**SUMINISTRO DEL PRODUCTO.****J.1 Introducción.**

El Comité Técnico CEN/TC 256 considera que los capítulos siguientes representan los mejores medios para evaluar la conformidad con esta norma de los productos suministrados.

J.2 Generalidades.

El cliente debe definir en su solicitud lo siguiente:

- 1) La geometría y las dimensiones del eje (dibujos);
- 2) El grado del acero si no es de grado EA1N;
- 3) La categoría del eje según su utilización;
- 4) La condición de suministro (véase J.3);
- 5) La clase de la protección final contra la corrosión y agresiones mecánicas, y si tiene que estar aplicada antes de la confección del eje montado (véase 3.9.1 de la normativa 13261);
- 6) La naturaleza y características de la protección temporal de las partes terminadas (véase 3.9.2 de la normativa 13261);
- 7) La configuración del marcado en los extremos de los ejes (véase 3.10 de la normativa 13261).

En la oferta, el proveedor debe hacer una propuesta de seguimiento de la calidad de fabricación de los productos:

- 8) O bien por lotes como el descrito en el apartado J.5.1;
- 9) O bien un plan de calidad aprobado por el cliente, según se indica en el capítulo J.6.

El cliente y el proveedor deben llegar a un acuerdo sobre los siguientes puntos:

- 10) Integridad interna: las partes que no es posible examinar (véase 3.4.2.4 de la normativa 13261);
- 11) Permeabilidad a los ultrasonidos: tipo de sondas (véase 3.5.4 de la normativa 13261);

- 12) Tensiones residuales: método de medición (véase 3.6.4 de la normativa 13261);
- 13) Integridad de la superficie: método de examen de la superficie del diámetro interior (véase 3.7.2.4 de la normativa 13261);
- 14) Protección contra la corrosión del agujero (véase 3.9.1.1 de la normativa 13261);
- 15) Espesor del revestimiento: método de medición (véase 3.9.1.3 de la normativa 13261);
- 16) Adherencia del revestimiento: método de ensayo (véase 3.9.1.3.4 de la normativa 13261);
- 17) Elección de controles (véase la tabla J.1).

El cliente y el proveedor deben llegar a un acuerdo sobre el siguiente punto:

- 18) Estado de rugosidad de los radios de transición: método de medición por comparación con muestras táctiles y visuales (véase 3.7.1.2 de la normativa 13261).

J.3 Condiciones de entrega.

El grado de acabado de las distintas partes de un eje en el momento del suministro debe ser uno de los siguientes:

- No mecanizado (en condición de forjado o laminado), en las zonas concretas donde no se haya mecanizado, excepto en la medida en que el fabricante tenga que hacerlo para que el eje resulte compatible con los requisitos de esta norma;
- Desbastado, donde la parte considerada haya sido mecanizada y requiera mecanizados posteriores;
- Terminado, donde la parte considerada haya sufrido un mecanizado definitivo (no aplicable a zonas de calado);
- Listo para montar, donde una zona de calado haya recibido mecanizado definitivo para el montaje.

J.4 Controles de cada eje.

Si el seguimiento de la calidad de la fabricación se realiza con controles por muestreo de lotes (véase J.5), o con un plan de calidad (véase J.6), se requieren controles que aseguren las características especiales definidas en el capítulo 3. Estos controles deben realizarse en cada uno de los ejes suministrados, y son:

- Integridad interna (véase 3.4.2 de la normativa 13261);

- Permeabilidad a los ultrasonidos (véase 3.5 de la normativa 13261 o J.5.2);
- Integridad de la superficie (véase 3.7.2 de la normativa 13261).

J.5 Control por lotes.

J.5.1 Controles.

La naturaleza y número de controles se definen en la tabla J.1. Un lote comprende ejes de la misma colada tratados térmicamente en las mismas condiciones.

Tabla J.1 – Naturaleza y número de controles a realizar

Características a verificar	Número de ejes a controlar por lote		Referencias
	≤ 100	> 100	
Tamaño máximo del lote			
- Composición química ^e	1	1	3.1
- Contenido en hidrógeno	a	a	b
- Características de tracción (mitad del radio) ^e	1	2	3.2.1
- Resistencia al choque ^{3)c e}			3.2.2
- longitudinal (mitad del radio)	1	2	
- transversal (mitad del radio)	1	2	
- Limpieza micrográfica ^e	1	2	3.4.1
- Permeabilidad a ultrasonidos	100%	100%	3.5 o J.5.2
- Integridad interna ^f	100%	100%	3.4.2
- Integridad de la superficie ^{d e}	100%	100%	3.7.2
- Aspecto superficial	100%	100%	3.7.1 o J.5.3
- Geometría y dimensiones	100%	100%	3.8
- Protección final			
- espesor de la película	10%	10%	3.9.1.1
^a Un análisis por colada. Debería asegurarse que el valor máximo del contenido de hidrógeno registrado sea representativo de la colada entera. ^b El contenido en hidrógeno se determina según los métodos descritos en el anexo G (normativo). Debe ser < 2 ppm para los ejes de categoría 1, y < 2,5 ppm para los ejes de categoría 2. ^c Se usan tres probetas en cada ensayo. ^d Si así lo acuerdan el cliente y el proveedor, el ensayo de partículas magnéticas para determinar los defectos longitudinales puede reemplazarse por un examen visual, según se define en el apartado J.5.4. ^e Si así lo acuerdan el cliente y el proveedor, las probetas pueden tomarse de una prolongación de la mangueta. En este caso, los valores que hay que alcanzar deben ser convenidos entre el cliente y el proveedor. ^f Si así lo acuerdan el cliente y el proveedor, se puede usar el método AVG. ^g Dependiendo del proceso de imantación, puede ser necesaria una desimantación. El método debe ser acordado entre el cliente y el proveedor.			

J.5.2 Permeabilidad a los ultrasonidos.

J.5.2.1 Generalidades.

Se debe hacer una comparación con la permeabilidad de un eje de referencia convenido por el cliente y el proveedor.

J.5.2.2 Nivel a obtener.

El eco de fondo obtenido en los ejes inspeccionados debe tener una amplitud mayor o igual que la amplitud del eco de fondo registrada en el eje de referencia.

J.5.2.3 Probeta.

Se deben examinar todos los ejes después del tratamiento térmico y en estado terminado, antes de la aplicación de la protección final.

J.5.2.4 Método de ensayo.

La permeabilidad a los ultrasonidos debe verificarse mediante un examen en una dirección paralela al eje, según el método T de la Norma ISO 5948:1994. La frecuencia de la sonda debe ser de 5 MHz para los ejes de categoría 1, e igual o mayor que 2,5 MHz para ejes de categoría 2.

J.5.3 Acabado de la superficie.

Las características del acabado de la superficie deben estar en conformidad con el apartado 3.7.1.1. de la normativa 13261.

Pueden estimarse por comparación con las probetas cuya rugosidad haya sido objeto de acuerdo entre el cliente y el proveedor.

J.5.4 Control visual.

El control visual debe hacerse en condiciones normales de visión.

Los criterios de aceptación deben establecerse en base a las imágenes de referencia utilizadas por acuerdo entre el cliente y el proveedor.

J.6 Plan de calidad.

J.6.1 Generalidades.

En caso de que el control de calidad se realice mediante un plan de calidad (según la definición dada en la Norma EN ISO 9000) de los productos que se han de suministrar, éste debe ser establecido por el proveedor y debe ser acordado con el cliente.

Este plan de calidad debe hacer referencia al manual de calidad del proveedor; debe contener elementos específicos del producto.

J.6.2 Objetivos.

Dicho plan, debe establecerse en el momento de la oferta, con el objetivo de:

- Describir los procesos y el control de calidad del fabricante para lograr la calidad requerida del producto que se ha de suministrar; deben aportarse las razones de su selección;
- El plan de calidad debe proporcionar al menos la misma confianza que el control por lotes.

Este plan de calidad debe definir los controles que se hagan durante el proceso de fabricación y para el suministro del producto. Dichos controles pueden recogerse en el plan de control del proceso de fabricación.

J.6.3 Aplicación del plan de calidad.

Cualquier modificación del plan de calidad debe hacerse sólo con el consentimiento del cliente.

Si el cliente descubre una no conformidad en los productos que se van a entregar, se deben discutir los capítulos aplicables del plan de calidad y, si el resultado no es satisfactorio, se puede anular la validez del plan.

En este caso, se deben aplicar por completo los controles y ensayos definidos por el modo control por muestreo de lotes hasta que el cliente y el proveedor lleguen a un nuevo acuerdo.

**J.7 Rectificación autorizada.**

Con la excepción de las zonas de calado de las ruedas, manguetas listas para montar, canales de descarga y acuerdos, en los que no está autorizado realizar labores de retoque, los defectos de la superficie se pueden corregir eliminando metal. Esto puede lograrse por mecanizado o amolado suave, con la condición de que estos procesos no ocasionen calentamientos excesivos o formación de fisuras, y se mantengan las tolerancias dimensionales. La superficie resultante debe casar bien con las superficies contiguas.

En zonas $z\ 0$ de ejes motores, dicha rectificación está permitida si la profundidad del defecto que se ha de reparar es inferior a 0,25 mm.

Cada rectificación está seguida de una inspección para determinar que se cumplen los requisitos dados en el apartado 3.7.2. de la normativa 13261.

ANEXO ZA (Informativo)

CAPÍTULOS DE ESTA NORMA EUROPEA RELACIONADOS CON LOS REQUISITOS ESENCIALES U OTRAS DISPOSICIONES DE LA DIRECTIVA 96/48/CE MODIFICADA POR LA DIRECTIVA 2004/50/CE.

Esta norma europea ha sido elaborada bajo un Mandato dirigido a CEN/CENELEC/ETSI por la Comisión Europea y por la Asociación Europea de Libre Comercio, para proporcionar un medio de dar cumplimiento a los requisitos esenciales de la Directiva 96/48/CE, modificada por la Directiva 2004/50/CE.

Una vez que esta norma se cite en el Diario Oficial de la Unión Europea bajo esta directiva, y se implemente como norma nacional en al menos un Estado Miembro, el cumplimiento de los capítulos de esta norma indicados en la tabla ZA.1, dentro de los límites del campo de aplicación de esta norma, es un medio para dar presunción de conformidad con los requisitos esenciales específicos de esta directiva y los reglamentos de la AELC asociados.

Tabla ZA.1 – Correspondencia entre esta norma europea y la Directiva 96/48/CE

Capítulo(s)/Apartado(s) de esta norma europea	Capítulos/apartados/puntos y anexos de la ETI de junio de 2006 adoptada por el Consejo el 21 de febrero de 2008	Texto/capítulos/apartados/anexos correspondientes de la Directiva 96/48/CE
Toda la norma es aplicable	4.2.3.4.1 Comportamiento dinámico del material rodante. Generalidades	<p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.1.1, 1.1.3 Seguridad</p> <p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.5 Compatibilidad técnica</p> <p>Anexo III, Requisitos específicos de cada subsistema “Control-mando y señalización” – 2.3.2 Compatibilidad técnica</p> <p>Anexo III, Requisitos específicos de cada subsistema “Material rodante” – 2.4.2 Fiabilidad y disponibilidad</p>

ADVERTENCIA: Los productos incluidos en el campo de aplicación de esta norma pueden estar afectados por otros requisitos o directivas de la UE.

ANEXO ZB (Informativo)

CAPÍTULOS DE ESTA NORMA EUROPEA RELACIONADOS CON LOS REQUISITOS ESENCIALES U OTRAS DISPOSICIONES DE LA DIRECTIVA 2001/16/CE MODIFICADA POR LA DIRECTIVA 2004/50/CE.

Esta norma europea ha sido elaborada bajo un Mandato dirigido a CEN/CENELEC/ETSI por la Comisión Europea y por la Asociación Europea de Libre Comercio, para proporcionar un medio de dar cumplimiento a los requisitos esenciales de la Directiva 2001/16/CE, modificada por la Directiva 2004/50/CE.

Una vez que esta norma se cite en el Diario Oficial de la Unión Europea bajo esta directiva, y se implemente como norma nacional en al menos un Estado Miembro, el cumplimiento de los capítulos de esta norma indicados en la tabla ZB.1, dentro de los límites del campo de aplicación de esta norma, es un medio para dar presunción de conformidad con los requisitos esenciales específicos de esta directiva y los reglamentos de la AELC asociados.

Tabla ZB.1 – Correspondencia entre esta norma europea y la Directiva 2001/16/CE

Capítulo(s)/Apartado(s) de esta norma europea	Capítulos/apartados/puntos y anexos de la ETI de enero de 2005 Material rodante – Vagones de mercancías y aprobada por el comité sobre interoperabilidad y seguridad del sistema ferroviario europeo	Texto/capítulos/apartados/anexos correspondiente de la Directiva 2001/16/CE
Toda la norma es aplicable	<p>4.2.3.4.1 Comportamiento dinámico del vehículo. Generalidades</p> <p>5.3.2.4 Interacción vehículo/vía y gálibo. Ejes</p> <p>5.4.2.4 Interacción vehículo/vía y gálibo. Ejes</p> <p>6.1.3.2.4 Interacción vehículo/vía y gálibo. Ejes</p> <p>Anexo E: Interacción vehículo/vía y gálibo – Dimensiones de los juegos de ruedas y tolerancias para el ancho estándar</p> <p>Anexo M: Interacción vehículo/vía y gálibo. Eje</p> <p>Anexo Q: Procedimientos de valuación. Componentes de interoperabilidad</p> <p>Anexo Y: Componentes. Bogies y órgano de rodadura</p> <p>Capítulos/apartados/puntos y anexos de la ETI de enero de ferrocarril convencional sobre material rodante para locomotoras y vehículos motores (borrador sometido al comité sobre interoperabilidad y seguridad del sistema ferroviario europeo en septiembre de 2008)</p>	<p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.1.1, 1.1.3 Seguridad</p> <p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos generales – 1.5 Compatibilidad técnica</p> <p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos específicos de cada subsistema “Control-mando y señalización” – 2.3.2 Compatibilidad técnica</p> <p>Anexo III, Requisitos esenciales, Requisitos específicos de cada subsistema “Material rodante” – 2.4.2 Fiabilidad y disponibilidad</p>
	3.10.1.1.1 4.2.3.5.2 Ejes montados	

ADVERTENCIA: Los productos incluidos en el campo de aplicación de esta norma pueden estar afectados por otros requisitos o directivas de la UE.